

Ing. Adolfo Di Marco

VALVULAS ELECTRONICAS

TEORIA Y
APLICACIONES
FUNDAMENTALES

L/ 25,000.

VALVULAS ELECTRONICAS

TEORIA Y APLICACIONES FUNDAMENTALES

Prof. Ing. ADOLFO DI MARCO

VALVULAS ELECTRONICAS

1. INTRODUCCIÓN

Desde la invención de las llamadas máquinas simples, la palanca y la polea, por ejemplo, en los albores de la cultura humana, hasta los sorprendentes y últimos descubrimientos en el campo de la energía atómica, pocos dispositivos simples han tenido, acaso, una influencia tan grande en el desarrollo técnico y científico de la humanidad como la *válvula o tubo electrónico*.

La necesidad de comunicarse es esencial para las relaciones humanas, y la civilización actual descansa en el intercambio de ideas y de bienes entre los individuos y entre los grupos de individuos. Por eso la invención de la brújula y su aplicación a la navegación de altura señala con razón el arranque de una era nueva en la historia al ampliar y asegurar las rutas de comunicación. Del mismo modo, los medios eléctricos de comunicación, el telégrafo y el teléfono, reciben un impulso formidable que les permite un desarrollo hasta hace poco inconcebible con el advenimiento de la válvula electrónica. Pero, si bien ese invento encontró en las comunicaciones el primero y hasta ahora más amplio campo de aplicación, bien pronto rebasó los límites de éste y puede decirse que no hay actividades científicas o industriales donde no constituya o pudiera constituir un valioso auxiliar. Instrumentos

Queda hecha el depósito
en virtud de la Ley 11.733

Deposito en Argentina
Primera de Argentina

VALVULAS ELECTRONICAS

1. INTRODUCCIÓN

Desde la invención de las primeras máquinas simples, la palanca y la polea, por ejemplo, en los albores de la cultura humana, hasta los sorprendentes y últimos descubrimientos en el campo de la energía atómica, pocos dispositivos simples han tenido, acaso, una influencia tan grande en el desarrollo físico y mental de la humanidad como la válvula o tubo electrónico.

La necesidad de comunicación es esencial para las relaciones humanas, y la civilización actual descansa en el intercambio de ideas y de bienes entre los individuos y entre los grupos de individuos. Por eso la invención de la brújula y su aplicación a la navegación de altura señala una razón el arranque de una era nueva en la historia al ampliar y asegurar las rutas de comunicación. Del mismo modo, los medios electrónicos de comunicación, el telégrafo y el teléfono, reciben un impulso formidable que les permite un desarrollo hasta hace poco inconcebible por el advenimiento de la válvula electrónica. Pero, si bien ese invento marcó en las comunicaciones el primero y hasta ahora más amplio campo de aplicación, bien pronto rebasó los límites de éste y puede decirse que no hay actividades científicas o industriales donde no constituya o pudiera constituir un valioso auxiliar. Instrumentos de medición para las fenómenos más diversos, gigantescos e increíblemente rápidas máquinas de calcular que economizan centenares de miles de horas de ardua refuerzo a los investigadores y permiten la resolución de problemas de otro modo insuperables; precisos mecanismos de control que dejan regular, por decirlo así, con el toque de una pluma fuerzas enormes; ojos eléctricos que venían y miden las débiles radiaciones de los más remotos astros que presiden el cielo, etc., sólo son posibles gracias a la maravillosa estabilidad del que sin duda pueda considerarse como el más importante de los dispositivos electrónicos. Las posibilidades de aplicación están limitadas, tal vez, sólo por el esfuerzo que los investigadores pueden dedicar a la búsqueda de nuevos rangos: se ha construido ya la primera máquina electrónica para leer, y autoridades bien conocidas estiman al alcance de la técnica actual la construcción de máquinas de escribir al dictado y de máquinas productoras...

Hace algunas décadas no podía aceptarse que el hombre medianamente culto ignorase los principios de funcionamiento de la máquina de vapor. En la actualidad, el hombre que está asomado por la sana curiosidad de conocer el mundo que lo rodea, el que aun es capaz de apreciar, como Rupert Brooke, "la sutil, tranquila belleza de una gran máquina"¹, necesita conocer los principios en que se basa el funcionamiento de la válvula electrónica, el pequeño gigante al que debe el hombre gran parte del progreso técnico que disfruta.

1. Cita de la obra de W. W. Sawyer "Mathematics in Design".

Para el radiotelegrafo y el telefonado la más sólida base para el afirmamiento de sus ideas y el más seguro punto de partida para la adquisición de nuevos conocimientos y experimentos, es, sin duda, la perfecta comprensión de lo que sucede dentro de esa válvula, de las razones que justifican sus maravillosas aptitudes, de lo que puede esperar de ella y de sus inevitables limitaciones y defectos. El propósito y la mayor intención de toda clase de equipos electrónicos giran en torno de la válvula; es aquí donde ofrece posibilidades y donde fija límites. Y es oportuno, para entenderla íntimamente.

El presente volumen no tiene otro objeto que el de explicar de la manera sencilla, como es cómo funciona y cómo se usa. Las respuestas a estas preguntas no son intrínsecamente sencillas, porque envuelven conceptos que no son corrientes en la vida cotidiana; por eso se requiere cierto esfuerzo por parte del lector para comprenderlos, esfuerzo que procuramos facilitar constantemente con la adecuada ordenación de los temas y la insistencia en los aspectos fundamentales de cada fenómeno. No ha sido en lo posible el uso de las matemáticas, para proporcionar en el lector el conocimiento de fenómenos de electricidad y de algunos aspectos de geometría y astronomía.

2. EFECTO EDISON

Thomas A. Edison, el genial inventor norteamericano, se ocupaba en 1869 en el perfeccionamiento de un entonces más reciente invento: la lámpara incandescente. Los filamentos de fibras carbonizadas que utilizaba en las primitivas lámparas se volatilizaban en algunos puntos debido a que los procedimientos rudimentarios aplicados para su fabricación no permitían obtener una diámetro uniforme a todo lo largo del hilo. En efecto, dado que el calor desarrollado por la corriente eléctrica en cada región de un filamento conductor depende de su resistencia eléctrica y ésta aumenta al disminuir el diámetro, la temperatura resultaba irregular cuando el diámetro no se mantenía constante. De ahí la aparición de puntos más brillantes, es decir, de mayor temperatura. Constatado este defecto no pocas inconveniente, pues a mayor temperatura correspondía mayor rapidez de evaporación de la sustancia de que está formado el filamento y, en consecuencia, reducción del diámetro en los puntos críticos y exacerbación del fenómeno. El filamento terminaba por fundirse y en esta ocasión mucho más corta que la que corresponde a uno de diámetro uniforme.

Edison notó además, el ensanchamiento paulatino del bulbo de vidrio, el que terminaba como inundado por partículas de carbón proyectadas en línea recta desde los puntos calientes y depositadas en las paredes interiores del bulbo. Durante la serie de experimentos que entonces inició con el objeto de corregir estas deficiencias, el inventor llegó a introducir dentro del bulbo sellado una pequeña placa metálica dispuesta entre las dos ramas de herradura del filamento.

Después supuso que si una placa se unía por un conductor externo y a través de un galvanómetro al polo positivo de la batería utilizada

para encender la lámpara (Fig. 1), el instrumento muestra el paso de una pequeña corriente eléctrica tan pronto como el filamento alcanza la incandescencia; el sentido de la corriente era el que iba del polo positivo de la batería hacia la placa. En cambio, no resultaba paso de corriente alguna cuando el circuito del galvanómetro se cerraba sobre el polo negativo de la batería en lugar de hacerlo sobre el positivo. En el primer caso era forzoso admitir que la corriente salía del espacio vacío entre la placa y el filamento en alguna forma entonces desconocida, puesto que se comprendía perfectamente que la corriente que sale por el polo positivo de una batería debe retornar a ésta por el polo negativo. El fenómeno se conoce desde entonces con el nombre de *efecto Edison*, pero no pudo ser explicado hasta años después, luego de descubrirse las propiedades elementales del electrón, pequenísima partícula cargada de electricidad negativa que forma parte de todos los materiales conocidos y que en determinadas circunstancias puede ser liberada en enormes cantidades por un cuerpo cualquiera.

La explicación del efecto Edison se sencilla si se admite que los electrones emiten electrones, los cuales por tener carga eléctrica negativa son atraídos por la placa introducida en el bulbo cuando ésta está unida al polo positivo de la batería y tiene, por lo tanto, carga positiva. Salva así el espacio vacío comprendido entre el filamento y la placa, y llegan finalmente al polo positivo de la batería. En el conducto, y por lo tanto a través del galvanómetro, se establece un flujo de cargas eléctricas negativas que van de la placa a la batería. Los electrones perdidos por el filamento son restituidos a éste por la batería misma, de cuyo polo negativo parten para llegar a la placa caliente de igual.

Respetando las convenciones ya aceptadas desde mucho antes de descubrirse el real mecanismo de la conducción eléctrica, al movimiento de los electrones en el seno del conductor resulta en una *corriente eléctrica* con sentido opuesto, es decir, es el que va del polo positivo de la batería a la placa, y de la rama izquierda del filamento al polo negativo de la batería. El movimiento de los electrones y la corriente eléctrica tienen, pues, sentidos opuestos. Se preguntará el lector el porqué de esta convención tan contradictoria, y su pregunta no hallará otra respuesta que la que le atribuye a la casualidad y al respeto por la tradición. En efecto, los acrobacias de electricidad positiva y electricidad negativa fueron atribuidos arbitrariamente a diferentes manifestaciones de la electricidad y se llegó a admitir que sólo la electricidad positiva tenía existencia independiente de la materia y podía pasar de un cuerpo a otro. Como sentido de la corriente eléctrica se adoptó, en consecuencia, el del movimiento de las cargas positivas, en cuya existencia libre se creía. El descubrimiento del electrón demostró, en cambio, que es el

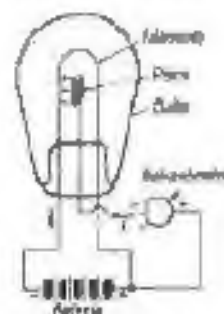


Fig. 1 - Efecto Edison. Cuando se cierra el interruptor el galvanómetro muestra la corriente eléctrica que sale del polo positivo de la batería por el espacio vacío hacia la placa y la placa hacia el filamento. Las corrientes eléctricas en la placa y el filamento son en sentido contrario. En ambos casos una corriente eléctrica (1) de sentido opuesto al del desplazamiento de los electrones.

1. Edison, al referirse con frecuencia a algunas partículas que él creía absorbidas en otros materiales, le atribuyó de los puntos calientes como aparece en el final del libro, por ser parte de una convención para la comprensión del resto del texto. Las partículas sobre las que se refiere, por lo visto, eran los electrones.

entran en el potencial de metal algunos de ellos no abandonan definitivamente sus límites. Y probablemente habrá fallado por el mismo la respuesta elemental asociada al libre fricción sus conocimientos de electrodinámica. Pero de 1938 también será conveniente que lo aclarezca aquí.

Imaginemos un pedazo de cobre, empujado sobre soportes aislantes y en estado eléctrico neutro. Esto significa que las cargas de sus átomos de biliones de electrones libres están exactamente compensadas por las cargas positivas de los núcleos. Y pensemos en uno de esos electrones errantes con sentido de ser suelto, el que en un instante cualquiera se encuentra en condiciones, por el azar de la casualidad, en que se mueva, de atravesar la superficie del metal y abandonar el exterior. En cuando la abandona, ¿qué ocurrirá? Pues, naturalmente, que en cuando la atraviesa dejará tras de sí un campo cargado positivamente, el cual es virtual de azar de que cuando de nuevo sigue se atraen, obligan al átomo a volver a su hogar. Tendría por lo tanto llevar consigo espontáneamente en poco más allá la fuerza de atracción entre dos cargas en diferente lugar depende no sólo de la magnitud de las cargas sino también de la distancia entre ambas, es decir, mayor cuanto menor es el cuadrado de esa distancia. Cuando el electrón indisciplinado está justamente atravesando la superficie del metal, la distancia es cero y la fuerza de atracción infinitamente grande. No es posible vencer una fuerza infinitamente grande y, por lo tanto, resulta espontáneamente imposible en absoluto que el electrón se aparte del metal. El efecto mismo demuestra, con la constancia de su realidad experimental que nuestro razonamiento sobre la fuerza de atracción es muy fuerte. Y no es difícil demostrarlo. (Tendremos, en efecto, derecho de hablar de superficie del metal cuando tratamos de explicar el comportamiento de una partícula tan débil como es la de un electrón). La respuesta es un "sí" rotundo. El metal, después de ser liberado por un escape de electrones que quedan distribuidos bien delimitados entre ellos mismos, en realidad, el espacio vacío en el caso de un metal es mucho mayor que el electrón mismo ocupado por los átomos; no puede haberlos, en consecuencia, de una superficie finita del metal con el contorno geométrico de la que rodeamos por su perfil; apenas si tenemos derecho a hablar de la "superficie" de átomos. Y la distancia entre el electrón que intenta una escapatoria y la superficie del metal no puede ser nunca cero, porque tal superficie, simplemente, no existe.

El simple gráfico de la Fig. 2 nos ayudará a explicar, lo que en realidad ocurre. Los puntos negros representan los átomos del metal, una línea roja de los cuales

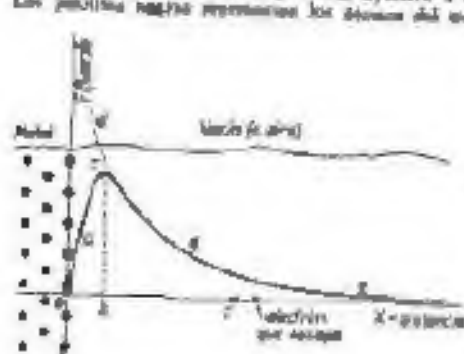


Fig. 2 - Un electrón que intenta escapar del metal. El gráfico muestra la fuerza de atracción (V) que aumenta exponencialmente al acercarse a la superficie del metal (X=0). La curva comienza en un valor constante en el interior del metal y sube bruscamente al salir.

se atraiga del metal. Pero como Roger al punto e se acercó a la fuerza que lo impulsa a volver; pero al salir, sentirá una fuerza de atracción hacia el átomo del metal que quiere volver a su hogar, y para ello ha tenido que gastar capacidad de producir trabajo, es decir, la que el metal tiene energía. La energía es la capacidad de producir trabajo que tienen los cuerpos y los átomos de ellos. Llegamos así a entender la causa por la cual un electrón

normalmente, todos los electrones libres del metal, para estar en condiciones de escapar deben vencer cierta cantidad de energía, y en el estado normal de un metal de metal sólo un número despreciable, si se habla de electrones lo mismo a la temperatura ambiente. Por eso el efecto Edison no se manifiesta cuando el filamento de la lámpara está frío.

Cuando se lleva el filamento de la lámpara a unos 2800 grados de temperatura, ya es otra cosa. ¿Por qué? Pues porque calentar un cuerpo cualquiera es suministrarle energía. Calor y energía son la misma cosa. Cuando se quema carbón se produce calor, pero ese calor, por medio de la caldera, el vapor, los pistones y las bielas se transmite finalmente en el trabajo mecánico para producir un tren, es decir, el calor es energía. Los electrones libres reciben una parte de la energía entregada al cuerpo al calentarlo, algunos más que otros, algunos en cantidad suficiente para vencer a la fuerza de atracción que los impide escapar. Cuando la temperatura del cuerpo es suficientemente alta el número de electrones que se ponen en condiciones de escapar, y escapan, se hace considerable, hasta el punto de hacer posible observar una corriente de electrones milivoltios en la institución de la Fig. 1. Y tengamos presente que una corriente de un milivoltio representa nada menos que 1800 billones de electrones por segundo.

El fenómeno de escape de electrones de los cuerpos calientes se conoce con el nombre de emisión térmica, también descubierto por ciertos más servicios sobre filamentos calientes, o si se prefieren los nombres más complicados emisión termoeléctrica. Los tubos electrónicos en los que se utilizan los electrones por medio del mecanismo que acabamos de explicar, es decir, por el calentamiento de un cuerpo conductor, se llaman válvulas o tubos termoeléctricos, para distinguirse de los que operan a otros tipos de fuente de electrones.

Es claro que el siguiente no se contenta con saber que los electrones se escapan cuando se calienta el cátodo (así se llaman los cuerpos emisores de electrones) de un tubo. Necesita saber cuántos se escapan en un tiempo dado, por ejemplo en un segundo. De otro modo mostraría un verdadero comportamiento contrario en tubo termoeléctrico, como es fácil imaginarlo. Dos investigadores, Dushman y Richardson (vale la pena recordar sus nombres) establecieron, independientemente, una ecuación de alguno de estos fenómenos, que permite el cálculo. La ecuación es la siguiente:

$$I = AT^2 e^{-\frac{W}{kT}} \text{ (ampios/cm}^2\text{)}$$

Si usted no está familiarizado con las ecuaciones no trate de recordar esta fórmula ni de interpretarla por su cuenta. No es necesario para su trabajo el para comprender lo que sigue. Pero le decimos que la fórmula no da el número de electrones por segundo sino la corriente I en amperios por cada centímetro cuadrado de cátodo que esos electrones producen en la Fig. 1. A la derecha del signo =, la letra T representa la temperatura absoluta (la temperatura que se lee en un termómetro centígrado más 273), y además aparecen las letras A y B. Estas letras están porque el fenómeno de la emisión se presenta un poco diferentemente según el material del cátodo. Lo que la ecuación nos dice es que la corriente producida por cada centímetro cuadrado de cátodo depende del material del cátodo, y para una clase dada de cátodo, de su temperatura. El término $e^{-\frac{W}{kT}}$ expresa que esa variación es, principalmente, del tipo que los que utilizan las matemáticas llaman exponencial.

Al cambiar, esa ecuación le dice otras cosas. Pero el punto crucial sobre el que se refiere una objeción para aclarar la marcha de su fenómeno, el escape de electrones o cátodos. Los usaremos mucho en este texto, y si usted encuentra alguna dificultad en interpretarlos es mejor que se haga explicar los fundamentos de la representación gráfica por alguna persona entendida aquí por favor de inmediato. La mayoría de los físicos y aficionados de la radio los conocen bien. La Fig. 3 representa la corriente I emitida por tres diferentes tipos de cátodos como función (es decir, para cada valor) de la temperatura. Observe, por ejemplo, que un cátodo de "tungsteno recubierto" emite un amperio por cm² a 1000° y el "tungsteno de azufre" la misma corriente a solo 1250°. Observe también que los curvas son muy asimétricas, lo que significa que un pequeño cambio de temperatura produce una variación muy grande de la corriente. Luego es la misma esta observación, porque es una de las razones por las cuales la tensión de la batería con que se calienta los cátodos debe mantenerse estable.

Los tres tipos de emisión tratados como ejemplo se usan en la práctica, aunque a primera vista nos parecerían con el de emisión. Después hemos de ver por qué se puede prescindir de los otros.

• **1.ª.—** Emisión térmica de electrones. En el párrafo anterior hemos dicho que un electrón necesita cierta cantidad de energía para escapar y que al calentamiento el aumento de energía a algunos electrones les sirve en condiciones de escape. Pero el calor no es la única forma de energía que puede llegar a los electrones del metal. El átomo no es el único método capaz de chocar electrones escapados. Hay otras posibilidades y entre ellas dos que nos interesan particularmente: La emisión fotoeléctrica y la emisión secundaria.

La luz es una forma de la energía, energía electromagnética, la misma que la de los ondas de radio. Se puede decir también de cómo un haz de luz transporta energía, pero lo importante para nosotros es que cuando esa luz, llamada una superficie metálica (como tal si se trata del metal llamado cátodo) por un mecanismo muy complicado que si quisiera se conoce a ciencia cierta, esa energía puede ser transferida a los electrones libres en cantidad y condiciones más o menos precisas a algunos de ellos a expensas rompiendo la barrera de fuerza que los contiene. En ese instante la energía o el efecto fotoeléctrico, tan importante para la televisión y para la conducción de los aparatos electrónicos, como aquellos que hacen funcionar automáticamente los sistemas mecánicos cuando una persona interviene con un cuerpo un rayo de luz.

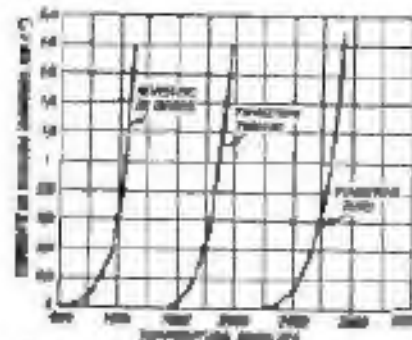


Fig. 2.—Curva de la emisión térmica de electrones para un cátodo de tungsteno. La curva superior es la de un cátodo de tungsteno y la inferior es la de un cátodo de tungsteno recubierto con óxido de bario.

La emisión secundaria se usa también en algunos casos. Cuando un electrón se proyecta violentamente contra una superficie metálica, la energía de que va dotado en virtud de su velocidad revulsiva es un tanto el "rebote" de los electrones, en que se hallan los electrones libres, algo así como cuando al se arroja una bola de billar contra un grupo de otras bolas se descomponen, estropean y algunas saltan la barrera del primer nivel algunos de los electrones libres en condiciones más o menos precisas de fuerza y escape. La de secundaria, aplicada al funcionamiento y emisión a los electrones que por él se obtienen, se justifica porque se necesitan otros electrones (electrones secundarios) para mantenerla.

• **2.ª.—** Ionización de los gases y de los vapores. Hay otra forma de escape de los electrones del cuerpo que los contiene, que es importante en el funcionamiento de los tubos electrónicos; es la que se conoce con el nombre que sirve de título al presente párrafo. Los gases y los vapores son cuerpos que se caracterizan porque sus moléculas son relativamente independientes las unas con respecto a las otras y están sujetas de una constante agitación, cuya actividad aumenta con la temperatura. La presión que un gas o un vapor ejerce sobre las paredes del recipiente es el resultado del choque de sus moléculas con tales paredes: el aumento de presión que acompaña siempre al aumento de temperatura es consecuencia de la activación del movimiento de las moléculas, y con ella, de la energía e intensidad de los choques con las paredes.

Si se proyecta un electrón saliendo de conveniente velocidad a través de una cantidad de vapor o de gas, hay cierta probabilidad de que el electrón, a pesar de su pequeño, choque con alguna molécula. Si se dan circunstancias favorables, el resultado de la colisión es el des-

prendimiento de alguno de los electrones de valencia de la molécula o de los átomos que la componen. Cuando una molécula o un átomo ha perdido uno o más electrones, su carga eléctrica neta queda positiva: se convierte así en una partícula bastante pesada, comparada con el electrón, y cargada con electricidad positiva. Es un ion positivo.

Este proceso es en general acumulativo: esto quiere decir que el electrón escapado choca a su vez con otra molécula y la ioniza también; el nuevo electrón, junto con los dos que ya teníamos, vuelven a chocar y a ionizar, y así sucesivamente.

En la lámpara de Edison de la Fig. 1 la ionización se presenta cuando el vacío de la ampolla es bastante imperfecto como para dejar dentro de ella una cantidad conveniente de aire. Los electrones necesarios para iniciarla son suministrados por el filamento caliente y acelerados por la atracción de la placa positiva.

La ionización va a menudo acompañada por la luminiscencia del gas, ese brillo de suave color azúl o violáceo que se observa en algunas válvulas cuando conducen corriente, o en las ordinarias lámparas de neón. El origen de esa luminiscencia es algo difícil de explicar aquí, pero es bueno saber que resulta de la conversión de la energía en luz. Si usted está interesado en conocer mejor el fenómeno, conviene que lea el capítulo correspondiente a "Descarga luminiscente" en algún buen tratado elemental de Física.

La ionización altera completamente la marcha del fenómeno de la conducción eléctrica entre el cátodo y la placa. Hay tubos donde se la provoca ex profeso, y otros donde se trata de evitarla por todos los medios; depende de lo que se pretenda de ellos. En otro lugar veremos algo más sobre este asunto.

Antes de dejar el tema diremos que, aparte de los electrodos acelerados, hay otros agentes de ionización. De interés para nosotros es la ionización que se produce cuando una masa de gas se "ilumina", sea con luz visible, sea con rayos X. También produce ionización con rayos más o menos misteriosos que los físicos llaman rayos cósmicos y que provienen de alguna fuente desconocida en la inmensidad de los espacios siderales. Entre tipos de ionización, aunque poco importantes por su "volúmen" (por decirlo así), son muy importantes porque se hallan siempre presentes, de modo que en cualquier gas o vapor se puede considerar una débil ionización permanente.

4. TIPOS DE CÁTODOS

Todos los válvulas electrónicas necesitan electrones para funcionar, de modo que es en ellas esencial la presencia de una fuente productora de electrones o cátodo. Diferentes tipos de cátodos se usan en la práctica para satisfacer diferentes necesidades. Una primera clasificación atiende al modo cómo se provoca el escape de los electrones, y entonces de acuerdo con lo expuesto en el capítulo precedente, reconocemos al cátodo térmico y al cátodo fotoeléctrico como los primeros en importancia para nosotros. Los tubos que basan su funcionamiento en el primero se llaman *termiónicos*; los que aprovechan el segundo, *fotoeléctricos*.

Nos referiremos ahora a una cierta detención a los cátodos térmicos.

4.1. **Tipos de tungsteno.** En la película lámpara de filamento se usaban estos filamentos filamentos vegetales carbonizados. No es el caso de explicar aquí los inconvenientes del filamento carbónico y los filamentos por los cuales en las lámparas de alumbrado más modernas se utilizan y se utilizan filamentos de tungsteno. El tungsteno es un metal muy duro, que se funde recién a los 3600° de temperatura absoluta; la temperatura de trabajo es muy importante en los filamentos de las lámparas.

Además, los filamentos que juegan la temperatura del hierro por su color. Como el tungsteno se funde a 3600°, se puede mantener a más de 3000° durante largo tiempo. Los filamentos de alumbrado común son por "quemarse" porque mucho antes de llegar al punto de fusión el meta del filamento se evapora, el filamento se adelgaza y como siempre el punto del filamento está más caliente que las otras a causa de la inevitable falta de perfecta homogeneidad de la construcción, en esa parte la evaporación es más activa y ella se transforma en "punto delgado del hilo". llega el momento en que el filamento se rompe en ese punto. No es que nosotros ahora ocupamos del alumbrado, pero la que hemos dicho de las lámparas se aplica a las válvulas electrónicas.

Para que un metal duro como el tungsteno sea práctico es necesario que pueda mantenerse a una temperatura lo bastante alta como para que la emisión sea suficiente sin que la rapidez de evaporación llegue a ser excesiva.

El tungsteno es el metal, pero que mejor material para bombear: lo sigue el niobio. Por eso el uso del tungsteno para la construcción de filamentos catódicos se generaliza rápidamente y casi exclusiva hasta aquí por el año 1922.

A pesar de que el tungsteno torcido y los cristallizantes de trabajo son mucho más eficientes que el tungsteno como emisores, hasta sigue utilizándose al presente en las válvulas grandes de radio, en las bombas de rayos X, etc. En razón es la siguiente. Es imposible hacer un vacío perfecto dentro de una ampolla; siempre queda algo de aire, y este aún quedan gases cristalizados en el vidrio y en las partes metálicas del tubo, gases que con el tiempo van liberándose y contaminando, en consecuencia, el vacío. Dos gases se liberan, como hemos visto, por el choque de los electrones, y los iones positivos son atraídos por el cátodo (negativo) y se precipitan contra él. Si el cátodo es muy negativo con respecto al ánodo, los iones positivos se precipitan contra él.

Hay que pensar en una lluvia de millones de partículas diminutas, como el granizo que destruye las cosechas a pesar de su pequeñas individualidad.

Además, si éste no es verdaderamente suficiente. El tungsteno es un metal durísimo y soporta muy bien la granizada de iones. Pero eso, al construir cualquier manual de válvulas "transmisoras" verá usted que se usan grandes cantidades que trabajan con tensiones de placa superiores a 5000 volts, hacen casi siempre "filamentos de tungsteno puro". De aquí observe que estos filamentos se filan más (para tales fines) son convenientes de 10 a 20 volts y tienen cristallizantes a veces de con-

centros de impetusa. Si multiplica los amperes por los volts obtiene la "potencia de calefacción" en watts y divide por mil y multiplica por las horas de funcionamiento obtiene los kilowatt-horas consumidos. y

conoce las tarifas del servicio público de electricidad se convencerá de que los estudios de tungsteno puro son muy buenas pero cuesta mucho para mantenerlos calientes.

4.2. **Cálculo de tungsteno torcido.** Para obtener el funcionamiento de las válvulas necesitan cátodos más eficientes. Uno de ellos se obtiene aplicando torio al tungsteno. El torio no puede usarse puro porque su temperatura de fusión (1200°) es muy bajo para . . .

Cuando un filamento de tungsteno está rodeado de torio y se calienta, el torio se deposita sobre la superficie del tungsteno en una película, posiblemente del espesor de un átomo de torio. En esos casos escribimos, a unos 1000° el torio "no el tungsteno" como emisores. También se evapora, pero a medida que la capa activa se gasta, nuevas cantidades del torio rodeado con el tungsteno reemplazan a los átomos evaporados. Cuando todo el torio se ha gastado la válvula se muere: la emisión del tungsteno puro es despreciable a esta temperatura.

La temperatura de trabajo de un filamento de tungsteno torcido (y la tanto la tensión con que se alimenta el filamento, se obtiene. Si excede o es menor que la que el fabricante recomendó se producen ca-

llos de emisión exige que el torio evaporado se reemplaza por una cantidad exactamente igual del torio que va adherido a la superficie. Esta igualdad se mantiene a una temperatura, muy definida. Si es más rápida que el filamento, la capa desaparece por evaporación y la emisión se extingue. La mayoría del cátodo se agrieta, desmenuza y se inutiliza. Los ingenieros a menudo recomiendan. Los fabricantes de vá-

Se le ocurrirá al lector que con "capa activa" de torio no puede ser tan eficiente como la parte superior de tungsteno al . . .

En un bien las altas tensiones. Al mejorar los procesos de vaciado de la ampolla, los filamentos de torio se han venido utilizando para voltajes cada vez mayores, y hoy en día hay válvulas de mucha potencia que por medio de un tratamiento especial, llamado de oxidación.

Al trabajar en temperaturas menores y emitir más corriente por unidad de superficie, estos filamentos requieren mucho menor potencia de calefacción que los de tungsteno puro. Y es conveniente no sólo por la emisión pero sino por otras razones que no podemos discutir aquí pero que se vinculan con la cuestión "relacionada" en los tratamientos.

4.3. **Estados sucesivos de óxidos.** Los óxidos de estroncio y de bario otros metales con nombres raros ayudan especialmente a las potencias muy bajas de 900° a 1100°. Pero se evaporan con gran

rápidas a temperaturas igualmente bajas. Se puede recurrir a un artificio para salvar este inconveniente y aprovechar sus excelentes conductividades térmicas. Se toma un alambre metálico, grueso, aislado, etc., (no es muy importante porque la temperatura es baja) y se le reviste de una capa de material que sea un buen conductor de la electricidad y que sea un buen aislante térmico. Así se consigue que la corriente eléctrica pueda fluir sin que se pierda calor por las superficies expuestas previstas.

Desafortunadamente la resistencia al calentamiento directa es pobre y por otra parte la fácil evaporación de estas sustancias impide lograr un buen vacío. Por eso se puede pensar por el momento en utilizar estos cátodos en válvulas que trabajen con tensiones altas, de modo que queden relegados a las de pequeña potencia. No debe olvidarse que si las pantallas térmicas se usan por tal razón, al contrario, este es el tipo de cátodo que se utiliza en los miles de millones de válvulas receptoras que se han fabricado en los últimos tiempos. Se venía pensando en lo de la economía que representa el ahorro de la potencia de calefacción.

44— **Cátodos de calentamiento directo y cátodos de calentamiento indirecto.** Con atención hemos estado utilizando hasta ahora un poco en estos los términos "filamento" y "cátodo". El nombre "filamento" proviene de los filamentos (hilo, cuando es un filamento de alambre) y el nombre "cátodo" se transfirió a la cáscara del tubo electrónico. El filamento, como hilo metálico utilizado para proveer electrones por efectos térmicos, representa una manera de realizar prácticamente el cátodo directo. Tiene como particularidad que el dispositivo o pedazo de metal mismo se aprovecha al mismo tiempo para producir, por efecto Joule de la corriente eléctrica, el calor necesario para llevar su temperatura al punto requerido. Esto se expresa con pocas palabras al decir que los filamentos son cátodos de calentamiento directo. Evidentemente no es este método el único que puede utilizarse para producir electrones, ya que se puede funcionar como cátodo. Podemos indicarle otro: el de una de gas de su espacio. Ahora una varilla de hierro y expuesta en atmósfera a la llama cuando se pone al rojo tiene unido a su disposición una enorme cantidad de electrones, y en varilla se, es definitiva, un "cátodo de calentamiento por llama". Desde luego no nos animamos a indicarle a construir una válvula con tal cátodo es muy complicado. Es más probable seguir utilizando la electricidad para calentar el cátodo, y la manera de cómo puede llevarse a cabo es en este tipo de cátodos. Se llama a parte de estos térmica una imagen mental de cómo es lo que se llama cátodo de calentamiento indirecto. El cátodo propiamente dicho, la parte que emite electrones, es el tubo interno del soldador, la "resistencia" de un soldador un pedazo de alambre de "nichrome" enrollado en espiral y aislado del tubo externo por medio de material refractario, es el cátodo (fuente del cátodo). Cuando pasa una corriente por la resistencia (el calentador) se calienta y el calor pasa al tubo externo. El metal frío de disminuir el calentador tendrá al poco rato un modo parecido a la amplificación del cátodo de calentamiento indirecto que usan las válvulas de radio.

1. Hay una gran diferencia entre estos dos tipos de cátodos y los que se usan en las válvulas de radio. En las de radio se usan los de tipo indirecto.

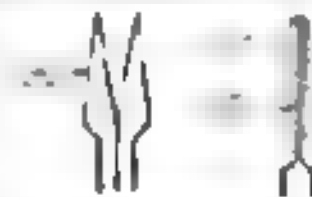
tena de calefacción. Este soldador es de calentamiento directo, el que se usa de calentamiento indirecto.

Los cátodos de calentamiento indirecto se construyen solamente en el tipo recubierto de óxido, porque en los otros las altas temperaturas hacen este método poco práctico. En la realidad, consisten en un tubo de níquel revestido exteriormente con la sustancia activa y que alberga en su interior el calentador, un alambre en espiral o no, de tungsteno u otro material adecuado, el cual se aísla del cilindro con sustancias refractarias.

Estos cátodos necesitan, a igualdad de superficie activa, más calor que los de calentamiento directo. Por eso, en las lámparas donde la cantidad de energía es un problema, por ejemplo en las que se utilizan en los equipos portátiles alimentados por baterías, se prefieren los de calentamiento directo. Consulte su manual de válvulas.

45— **Principios de funcionamiento de las válvulas de calentamiento indirecto.** Permiten usar un tubo de níquel recubierto de óxido y un alambre en espiral o no, de tungsteno u otro material adecuado, el cual se aísla del cilindro con sustancias refractarias.

En las válvulas de calentamiento indirecto se utilizan dos tipos de cátodos: el de tipo indirecto y el de tipo directo. El de tipo indirecto es el que se utiliza en las válvulas de radio y el de tipo directo es el que se utiliza en las válvulas de calefacción. En la Fig. 4 se ilustra el principio de funcionamiento de los dos tipos de cátodos.



46— **Cátodos líquidos.** En algunos dispositivos electrónicos de carácter industrial se usa una cubeta de mercurio o un metal líquido, como se sabe ya de los fusibles de cátodo. El proceso de emisión en este caso, aunque térmico en esencia, es más o menos un desprendimiento mecánico a los límites del cátodo.

47— **Principios de funcionamiento de las válvulas de calentamiento indirecto.**

Estos son los principios de funcionamiento de las válvulas de calentamiento indirecto. En la Fig. 5 se ilustra el principio de funcionamiento de las válvulas de calentamiento indirecto.

48— **Principios de funcionamiento de las válvulas de calentamiento indirecto.** El tipo de alta vacio es una válvula de estructura muy simple, ya que no es otra cosa que la versión moderna de la lámpara de Edison provista de placa. Consiste, pues, en un cátodo caliente y una placa fría alojados en un tubo en el que se ha practicado el vacío hasta el punto de poder disminuir los efectos de ionización del residuo de gas que inevitablemente queda. En la Fig. 6 se ilustra el principio de funcionamiento de esta válvula.

Consulte ya el funcionamiento elemental de esta válvula. El cátodo emite electrones, los que son atraídos por la placa cuando es positiva con respecto a aquel, hay entonces corriente a través de la

válvula, cuyo sentido de circulación es el que entra a la válvula por la placa. Es cambio, si la placa es negativa rechaza a los electrones y no hay circulación alguna. Los electrones, después de una breve oscilación, retornan al cátodo. El diodo, en esencia, es un dispositivo que se encaseta por la propiedad de conducir en un solo sentido; los dispositivos de esta clase llevan el nombre genérico de *rectificadores*. Si entre el cátodo y la placa se aplica un voltaje alternado, el diodo conduce durante los semiciclos en que la placa es positiva y no conduce en los otros. La corriente pasa, pues, a través del diodo por impulsos unidireccionales en una corriente *rectificada*.



Fig. 5. Sección transversal de un diodo en la cual el cátodo está conectado al terminal negativo y la placa al terminal positivo.

Esta simple relación cualitativa del comportamiento del diodo puede ser bastante para muchos casos, pero así como no es suficiente para aprender a utilizar las resistencias en los sistemas eléctricos saber que conducen corriente cuando se aplica una tensión entre los extremos, tampoco es suficiente saber que el diodo es un *rectificador* para poder aplicarlos plenamente.

Cualquiera que sea el dispositivo o elemento de circuito de que se trate, el ingeniero y por lo tanto el técnico también, necesitan saber antes que nada qué relación existe entre la tensión aplicada a los terminales del elemento y la corriente que en él circula.

Esta relación es muy sencilla en el caso de una resistencia. Se sabe que como la ley de Ohm, de hecho se expresa

$$I = \frac{E}{R}$$

es decir la corriente I que pasa a través de una resistencia es igual a la tensión o el voltaje aplicado E dividido por la resistencia R . La tensión se mide en volt, la resistencia en ohms y la corriente en amperes.

La relación volt-amperes, es decir la relación entre la tensión aplicada y la corriente resultante se expresa pues en el caso de los resistores por medio de una simple fórmula. En el caso de las válvulas electrónicas no existe una fórmula equivalente. La relación volt-amperes de las válvulas electrónicas no puede expresarse por medio de una fórmula sencilla. Y para cumplir a ésta es necesario expresar qué valor de corriente corresponde a cada valor de tensión para 1 volt (100) amperes, para 2 volts, 0.0015 amperes, etc. Hemos literalmente así escrito muy incómodo, es mucho más práctico expresar esas pares de valores de tensión y de corriente por medio de una curva. Esa curva es la *característica volt-amperes* del elemento, pero como veremos especiales en muchos casos, los que impiden acercándose poco a poco. Obsérvese

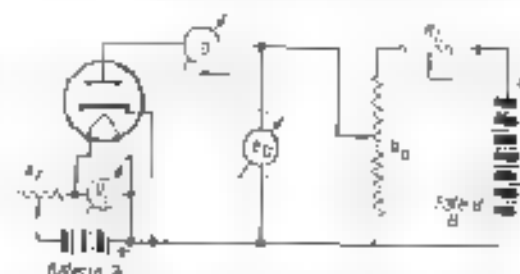
© 1957 por el autor. Todos los derechos reservados. No se permite la reproducción.

que hay tres modos de expresar la relación volt-amperes: 1º) el *gráfico* común, que puede considerarse en una tabla de valores; 2º) la *curva característica*, por la fórmula. El lector, posiblemente se sienta obligado más tarde cuando se va a tener que ver con resistores, que cuando tiene que tratar con una *6SL6*. No se le da oportunidad pensar que eso es sólo a que para calcular resistencias a través de un simple *ohm* ley, mientras que para determinar cómo debe usar una válvula necesita recurrir a tablas y curvas? Las razones principales que motivan el uso de las fórmulas provienen en gran parte de los datos suministrados en el diodo que sería adquirir conocimientos técnicos útiles a un ingeniero eléctrico.

Veremos en seguida cómo puede determinarse la característica volt-amperes del diodo.

5.3— Características volt-amperes del diodo Hay un método simple para determinar la característica volt-amperes de un diodo. Un *calibrador* de una válvula es el que consiste en medir la corriente para unas cuantas tensiones diferentes de la tensión de placa, dando como una *curva* característica. Para ello necesitamos un montaje de *vacío* muy sencillo, el que se muestra esquemáticamente en la Fig. 6, que cualquiera puede seguramente construir en su taller. ¿Por qué no hacerlo? La *Fig. 6* suministra la *característica* de *vacío* de un diodo *rectificador* *6X4* y el *voltaje* en E_p permite ajustar la tensión del *calibrador* en los valores deseados. La tensión de placa a *aproximadamente* 100 voltios "B" pero se la puede variar, desde cero hasta el máximo de la *base* por medio del *potenciometro* R_1 . Comenzamos agregar el *resistor* R_2 de *resistencia* unas 10 veces menor que R_1 para poder ajustar con más facilidad el *voltaje* a la tensión E_p que se mide con el *voltímetro* V_1 pero en las *polaridades* indicadas. El *potenciometro* R_1 mide la corriente.

Fig. 6. Diagrama esquemático de un diodo *rectificador* *6X4* en la cual el *calibrador* E_p mide la corriente I_p y el *voltaje* E_p se mide con el *voltímetro* V_1 . El *potenciometro* R_1 mide la corriente I_p y el *voltaje* E_p se mide con el *voltímetro* V_1 . El *potenciometro* R_1 mide la corriente I_p y el *voltaje* E_p se mide con el *voltímetro* V_1 .



Se comienza por ajustar a cero el *calibrador* E_p y luego se ajusta el *voltímetro* V_1 a la tensión E_p que se desea. Se mide la corriente I_p en los puntos que corresponden a $E_p = 10$ voltios $E_p = 20$ voltios, etc. El valor *exacto* se logra manipulando R_1 . Para cada *voltaje* E_p se mide el *corriente* I_p en la *raya* de la *curva* común. No hay peligro en ajustar *temperatura* T_p de *base* 100 a 150 voltios. A partir de la *tabla* de valores así confeccionada se puede a una *característica* para ello se comienza por tomar una *curva* I_p E_p .

Si se hace por ejemplo $C = 0.05$ microfarad $= 0.05 \times 10^{-6}$ farad y $A_c = 1$ megohm $= 10^6$ ohm, se tiene $R_g = \frac{0.05}{0.05} \times 10^{-4} = 1.05$ Ohm y ω ohm $= 0.05$ segundo, el capacitancia es entonces adecuado para ablatar la de recalentamiento bajo como de 100 cada por segundo $T = \frac{1}{0.05} = 100 = 0.01$ por segundo

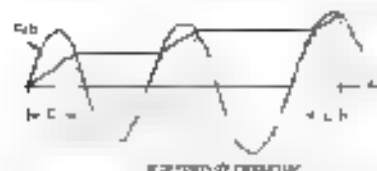


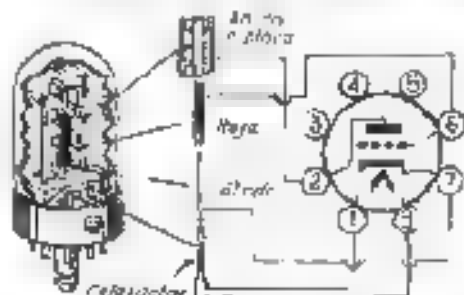
Fig. 12. Carga de espacio y corriente de placa. La carga de espacio E_c y la corriente de placa I_p en función del tiempo t . La carga de espacio E_c es la carga de placa I_p .

Los voltajes de válvula son muy importantes en todo porque son los que controlan las acciones que pueden hacerse para la operación de electrones de fluir en ella. En la práctica los valores de los voltajes complementarios para obtener el mejor de las válvulas, hasta el punto de que a veces resulta difícil conseguirlos.

EL TRIODO

El primer tubo realmente usado en aplicaciones, tanto como elemento como por su simplicidad, es el triodo. El triodo se puede considerar como un diodo a que se agrega un tercer electrodo, intermedio entre la fuente emisora de electrones, el cátodo, y el ánodo o placa. El nuevo electrodo adopta, por lo general, la forma de un fino alambre enrollado en forma de hélice cilíndrica alrededor del cátodo.

Fig. 13. Construcción del triodo.



pero aislado de él y guardando cierta distancia; otras disposiciones son igualmente posibles. Recibe los nombres de electrodo de rejilla y placa, indistintamente.

La Fig. 13 muestra diagramáticamente el montaje interior del triodo. La Fig. 20, y la misma Fig. 10, los símbolos con que se lo representa en los esquemas de circuito.

8.1 - Funcionamiento del triodo. Para entender cómo funciona el triodo conviene recordar que, según se ha visto en el capítulo preceden, la corriente del diodo queda determinada por una condición de equilibrio entre el efecto de atracción de la placa y el de repulsión de la carga de espacio, es decir de la carga de los electrones que en un momento dado ocupan, en un momento, el espacio comprendido entre el cátodo y la placa.

La rejilla, geométricamente considerada, no representa un obstáculo en

por tanto para el movimiento de los electrones a causa de su construcción atómica. Su desvirtuación fundamental surge de la posibilidad de aplicarle potenciales positivos o negativos con respecto al cátodo por medio de una batería externa.

Si la rejilla es hecha negativa respecto del cátodo, su carga ayuda al efecto de repulsión de la carga de espacio, puesto que ambas son del mismo signo. Si consecuentemente si en ausencia de la rejilla la condición de equilibrio se produce, digamos, para una concentración de 100,000 electrones por milímetro cúbico, ahora la misma condición se alcanzará con sólo, por ejemplo, 25,000 electrones por milímetro cúbico. La corriente se reduce así, prácticamente, a la cuarta parte. Elevando aun más el potencial negativo de la rejilla, la concentración disminuye más aún como caso límite, la concentración puede llegar a ser nula cuando la rejilla es suficientemente negativa como para neutralizar por sí sola la acción de la placa. El potencial negativo de rejilla que es justamente suficiente para impedir la circulación de electrones se llama tensión de corte del triodo. Se hace darse cuenta que la tensión de corte depende no sólo de la estructura geométrica de la válvula, sino también de la tensión de la placa cuando ésta positiva sea la placa, tanto en un momento deberá hacerse la rejilla para interrumpir la corriente.

Fig. 14. Símbolos utilizados para representar el triodo en los esquemas de circuitos. La rejilla se representa por un triángulo y la placa por un círculo.



Por el contrario, la rejilla positiva ayuda la acción de la placa al de modular una mayor concentración de electrones para establecer la condición de equilibrio.

De esta forma, y suponiendo que la temperatura del cátodo se mantenga constante, la corriente de placa del triodo viene a depender no sólo del voltaje de la placa respecto del cátodo sino también del voltaje de la rejilla con respecto al mismo cátodo.

Ahora bien, si la rejilla es mantenida negativa respecto del cátodo, ella no repulsa por sí misma electrones, ya que su carga negativa ejerce una acción repulsiva sobre los electrones que se le aproximan. Como ayuda, por lo tanto, no hay entonces corriente de rejilla, lo que significa que la batería o fuente de tensión empleada que se utiliza para fijar su potencial, no entrega corriente. Y al no entregar corriente, tal fuente puede considerarse en reposo o abierta. No se necesita entonces ninguna energía ni mantener negativo la rejilla, y hasta con modificar su potencial para gobernar a voluntad la corriente de placa. En cambio, la rejilla positiva se expone a absorber electrones, y en tal caso existirá alguna corriente de rejilla y, por lo tanto, consumo de energía en su circuito. Sin embargo, siempre que el potencial positivo de la rejilla se mantenga por debajo del potencial de la placa, la corriente de rejilla se mantendrá mucho menor que la de placa. La energía gastada en el circuito de rejilla será, por lo mismo, mucho menor que la que se pone en juego en el circuito de placa.

De esta posibilidad de controlar corrientes (y, por lo tanto, potes

estas características en un circuito sin grilla de control, es el dispositivo controlador, entre muchos de los importantes apéndiceos del triodo. A ello hay que agregar la extremadamente rápida con que la corriente de placa responde a las variaciones de potencial de la rejilla. Pese al esto no siempre se intercala superior al funcionamiento de segundo entre el instante en que se modifica el potencial de rejilla y el instante en que la corriente y de placa se acomoda a un nuevo valor. No es un fenómeno algo extraño de por sí el nombre que pueda compararse en este sentido con el tubo electrónico.

5.2 Características volt-amper del triodo. Como en el caso del diodo, no vamos a dar una fórmula que exprese con bastante exactitud la relación que vincula la corriente de placa del triodo con los voltajes de rejilla y de placa. Debemos recurrir nuevamente al trazado de las características volt-amper en estos casos. A este propósito sirve la instalación de la Fig. 21, que es en más que una extensión de la que

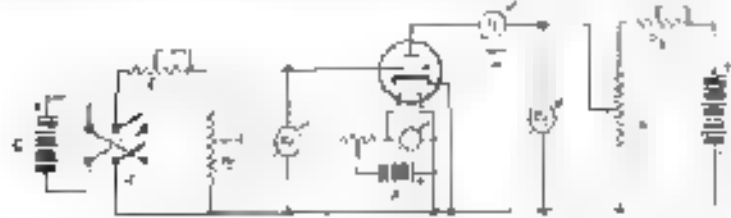


Fig. 21. Método para determinar las características volt-amper del triodo.

nos sirvió para el caso del diodo. Se ha agregado un dispositivo polarizador para obtener la escala de rejilla necesaria al que simplemente en el circuito de placa, pero donde una placa controlada a su vez invierte la polaridad de la batería.

Dado que ahora son tres las tensiones que podemos variar, es necesario proceder con cierto método para extraer convenientemente los datos a las tensiones de la experimentación. Lo mejor es fijar una de las tensiones, por ejemplo, la de placa, en un valor elegido de antemano y lo variaremos, paso a paso, la tensión de rejilla, digamos de volt en volt. Si registramos los valores de corriente de placa que corresponden a cada valor de la tensión de rejilla. Los pares de valores obtenidos se sitúan sobre un papel cuadrado en la forma que ya conocemos y se unen por medio de la conocida curva de inflexión típica. A continuación se anota el valor de la tensión de placa a otro valor elegido, y se repite el mismo proceso. Una nueva curva resulta; la dibujaremos y para así ir continuando con la anterior anotamos sobre ambas el valor de la tensión de placa al que cada una corresponde. A otros valores de la tensión de rejilla corresponden de igual modo, otras curvas, así que repetiremos todos los pasos a los mismos ejes, se obtiene lo que se llama una "lámina de curvas". Como esta lámina representa la relación que existe entre la tensión de rejilla y la corriente de placa con la tensión de placa constante, esta lámina se llama "características de rejilla de placa constante". También se la suele llamar "características de rejilla y características de placa". Más convenientes son

las dos primeras denominaciones, porque son más descriptivas. La Fig. 22 representa una de estas familias de curvas, a que corresponde el triodo 6J5.

Peru existe otro método para presentar la información obtenida en la experiencia anterior. Basta extraer de nuestra tabla los diferentes pares de valores de corriente de placa que correspondan a una misma tensión de rejilla. Para cada valor de ésta se podrá trazar entonces una curva, "características de placa constante de placa", individualizada por el valor de la tensión de rejilla correspondiente. Estas curvas se llaman también "características de tensión de placa constante o características de placa". Se las puede obtener más directamente con la instalación de la Fig. 21, fijando en valores elegidos de antemano y procediendo a variar V_{g1} y leer los valores de I_p correspondientes.

La Fig. 23 representa las características de placa del modo 6J5. Es fácil verificar la equivalencia de ambas formas de representación.

Cuál de las dos formas de representación es la más conveniente? Hemos de recomendar una de ellas que las dos van de placa son más adecuadas para la resolución de los problemas más frecuentes en las aplicaciones del triodo.

Las curvas características se suministran en los manuales de válvulas. En éstos se las llama "características medias". El nombre indica que no corresponden en realidad a un ejemplar determinado del tipo a que

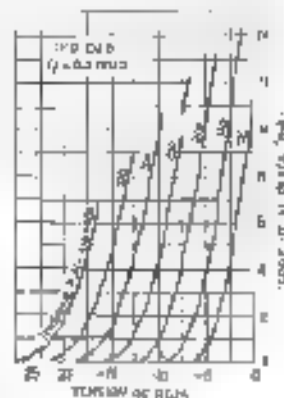


Fig. 22. Características de placa del triodo 6J5 (características de placa).

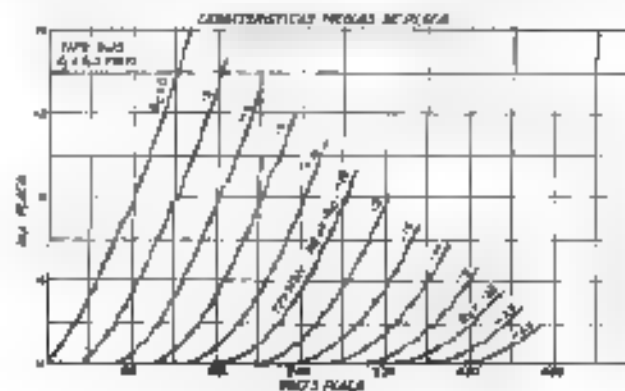


Fig. 23. Características de rejilla de placa del triodo 6J5 (características de rejilla).

1. Estas son las curvas típicas de representación de las características del triodo que se emplean en el diseño y las curvas de gran potencia y el comportamiento más realista de amplificación. Se las llama "características de placa". Se las puede obtener más directamente con la instalación de la Fig. 21, fijando en valores elegidos de antemano y procediendo a variar V_{g1} y leer los valores de I_p correspondientes.

se refieren, sino que representan valores nominales en las mediciones repetidas sobre un grupo de tubos.

En resumen y convenientemente llamado así porque en un 60S y un 6J5, por ejemplo, hay diferencias notables aunque provengan de la misma fábrica, diferencias que derivan de las muy variadas distancias entre las distancias, cantidades de material, etc., en la fabricación, sería. Estas tolerancias son a veces en el orden de 10% y a veces de 20% o más. Estas variaciones en cuenta al proyectar y construir un equipo. Estos deben funcionar bien cuando sus voltajes se hallan al azar en los límites dados por "buenos" por el fabricante de tubos (el aparato de su laboratorio).

Cuando la válvula de que se trata funciona en condiciones tales que la rejilla llega a ser por momentos positiva, la información debe complementarse expresando las relaciones que vinculan la corriente de rejilla con las tensiones de placa y de rejilla. Se obtienen así las características placa-corriente de rejilla o las características tensión de rejilla-corriente de rejilla.

Correspondiendo finalmente observar en las Figs. 22 y 23 que la forma general de las curvas del triodo con rejilla negativa son semejantes, en general, a la del diodo. No puede ser de otro modo, ya que la presencia de la rejilla negativa no hace sino alterar el efecto de la carga de cátodo, sin modificar en su esencia la condición de equilibrio que determina el valor de la corriente. Cuando la rejilla es positiva hay, en cambio, modificaciones mayores que en el triodo normal.

6.3 Factores variacionales (o diferencias) del triodo. El principio (y podemos decirlo, también el terreno mismo) puede enseñar su confusión ante el número exorbitante de tipos de válvulas diferentes que encontramos en el mercado. A nosotros nos interesa lo mismo. Sin duda, el desarrollo velozísimo de la técnica electrónica y la variedad y la natural variedad con que se han establecido normas de aceptación general, y también los intereses puramente comerciales, han llevado a una situación en la que por lo menos el 90% de los tipos de válvulas actuales pueden desecharse sin ninguna clase de remordimientos. El otro 10% habrá que conservarlo. Una razón para que haya tipos diferentes son los métodos para suministrar la energía de calentamiento del cátodo, cuya conservación depende del grado de equipamiento que se tiene las válvulas. Otra más importante es la aptitud de cada una para desempeñar funciones determinadas, tales como las de amplificadores, comparadores, osciladores, detectores, etc. También de primera importancia es la capacidad de manejar potencias, tensiones y corrientes, de una amplia escala de grandezas. Este aspecto está directamente vinculado con el tamaño físico del tubo. En cambio, la "aptitud para la función" depende de detalles menos evidentes. Hay que buscar éstos en las características que acabamos de estudiar.

La comparación directa de las curvas de diferentes tipos es inútil.

En las Figs. 22 y 23 se ve claramente la necesidad de un método más preciso para la comparación de las curvas de diferentes tipos de válvulas. En la Fig. 22 se ve que las curvas de un 60S y un 6J5, por ejemplo, están muy separadas, pero que si se las desliza una sobre la otra, se ven que son muy semejantes. Esto se puede hacer de la siguiente manera: se toma una curva de un 60S y se la desliza una sobre la otra, se ven que son muy semejantes. Esto se puede hacer de la siguiente manera: se toma una curva de un 60S y se la desliza una sobre la otra, se ven que son muy semejantes.

modo y poco práctico. Nos queda a describir las propiedades comparadas de cada una diciendo, por ejemplo, "las curvas de placa de la 6J5, son más inclinadas (más próximas a la vertical) que las de la 60S, y están además más juntas una de otra". Tal vez, al fin y al cabo, estas observaciones son las más importantes para juzgar las aptitudes funcionales de cada tipo, ya que la forma general de las curvas es la misma.

Para que usted pueda juzgar por sí mismo, damos en la Fig. 24 las características de placa de la 60S. Para evitar confusiones conviene medir las distancias no en centímetros sino en volt o en amperes, según se lo considere en sentido horizontal o vertical. Además, hay que tener cuidado de que los pares de curvas cuyas distancias se comparan correspondan a valores de tensión de rejilla separados del mismo intervalo, digamos 1 volt o 10 volts o lo que sea. Lo más conveniente será,

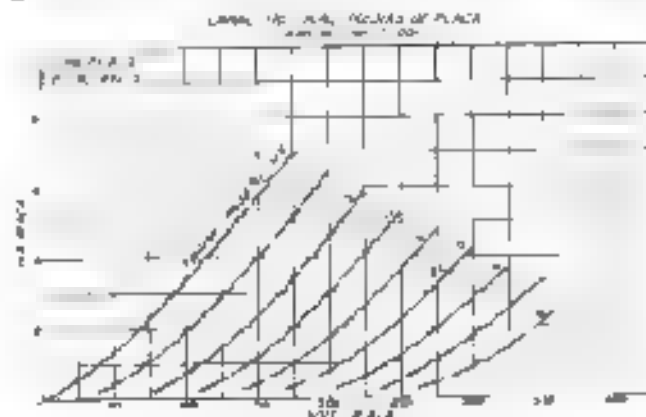


Fig. 24. Características de placa de la 60S.

sin duda, expresar la distancia entre curvas para las cuales dicha diferencia sea de 1 volt. Por ejemplo, en la 60S, cuyas curvas se han trazado para valores de V_{g1} variados de volt en volt, la distancia horizontal entre dos curvas sucesivas es de unos 35 volts. En el gráfico de la 6J5, las curvas corresponden a diferencias de 2 volts en rejilla. Se ve que la distancia horizontal, para 2 volts de diferencia en rejilla, es de 40 volts, y con un poco de imaginación se deduce que las curvas correspondientes a una variación de 1 volt en rejilla estarían separadas precisamente de 20 volts, es decir, la mitad.

Podríamos decir entonces que las curvas se desplazan unas 35 volts en la 60S y unas 20 volts en la 6J5, por cada volt de variación de la tensión de rejilla. Conviénganos en decir, para ser más sencillos, que el factor de amplificación de la 60S es de 35 y el de la 6J5, de 20. Después veremos el porqué del nombre. Por ahora tengamos presente que esa cifra no es más que una manera de expresar la distancia a que nos referimos.

La inclinación (o pendiente) de una recta se expresa en geometría por el ángulo que forma con la horizontal. Al hablar de la inclinación

ción de las características de una válvula nos encontramos con dos dificultades: primero, que las curvas son curvas y no rectas, y, por lo tanto, su inclinación es variable; segundo, que la inclinación medida por el ángulo lleva a terribles confusiones, ya que depende de la forma en que hemos marcado los valores de tensiones y de corrientes. El primer inconveniente se surta si (a menos por ahora) nos limitamos a considerar la parte más o menos recta de cada curva. El segundo, fijando la atención sobre dos puntos de la curva y expresando la relación que existe entre la distancia vertical y la distancia horizontal que mediamos de un punto a otro. Por ejemplo, en la Fig. 23, elegimos los puntos de la curva $e_2 = 2$, que corresponden, respectivamente, a ($e_1 = 120$ V y $e_2 = 8$ mA) y a ($e_1 = 160$ V y $e_2 = 23.5$ mA). La distancia vertical entre los dos puntos es de 13.5 mA $= 5.5$ mA, o sea 0.0055 ampere. La distancia horizontal, en cambio, es de $160 - 120 = 40$ volts.

Por lo tanto, la inclinación es 0.0055 amp. \div 40 volts $= 0.00138$ ampere/volt. A esta inclinación se la llama conductancia de placa, que designaremos en adelante con el símbolo g_p . En la práctica se prefiere usar la recíproca de la inductancia de placa, $1 \div 0.00138 = 7200$ volt/ampere ≈ 7200 ohm. Como volt dividido por ampere da ohm, este nuevo número es una resistencia. En la resistencia de placa del triodo, la que designaremos con el símbolo r_p y cuyo nombre justificaremos más adelante.

Conviene dejar registrada la observación que acabamos de hacer acerca de la relación recíproca que guardan g_p y r_p . Escribiremos, pues, la siguiente fórmula:

$$r_p = \frac{1}{g_p} \quad (1)$$

o, lo que es equivalente

$$r_p \times g_p = 1 \quad (2)$$

En lugar de describir el aspecto de la familia de curvas de placa por la distancia horizontal entre dos curvas, podemos hacerlo por la distancia vertical. Se observa aquí también que la distancia vertical depende de la región del gráfico en que se mide a causa de la curvatura de las curvas. Como antes, salvamos el inconveniente refiriéndonos a la región recta de las curvas, donde dicha distancia es prácticamente la misma dondequiera que se la mide. Por ejemplo, la distancia vertical entre las curvas correspondientes a $e_1 = -4$ volts y $e_1 = 2$ volts, medida según la vertical de $e_2 = 120$ volts es de $13.5 - 8 = 5.5$ mA $= 0.0055$ ampere. Para una separación de 1 volt entre los valores de e_1 de las curvas, la distancia será razonablemente la mitad de lo anterior, es decir, 0.00275 ampere. Como esta distancia es la variación de corriente que corresponde a una variación de la tensión e_1 de 1 volt podemos decir que la distancia entre las curvas de la familia de características de placa del triodo es de 0.00275 ampere por volt. La palabra "por" no tiene aquí el significado de multiplicación sino pre-

cisamente lo contrario, es decir, el de división. En efecto, para obtener esta cifra hemos dividido 0.0055 ampere por 2 volts y el resultado es

$$\frac{0.0055 \text{ ampere}}{2 \text{ volts}} = 0.00275 \frac{\text{ampere}}{\text{volt}}$$

Cuando se aplica a un resistor una tensión de 1 volt circula por él una corriente de 1 ampere, la ley de Ohm nos dice que

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampere}} = 1 \frac{\text{volt}}{\text{ampere}} = 1 \text{ ohm}$$

Para el mismo hecho se puede expresar escribiendo la ley de Ohm al revés, es decir en la forma $\frac{I}{R} = \frac{E}{1}$

En este caso

$$\frac{1}{R} = \frac{1 \text{ ampere}}{1 \text{ volt}} = 1 \frac{\text{ampere}}{\text{volt}}$$

Como es inócuo manipular un símbolo de la forma $1/R$ usaremos las letras G y g para designar a $1/R$, y aplicaremos a su valor el nombre de conductancia. La conductancia de un resistor es, pues, la recíproca de su resistencia. Del mismo modo ampere volt es la recíproca de volt \div ampere, es decir, del ohm. A la recíproca del ohm se le llama mho. La palabra mho delatada al revés. ¿Cuál es la conductancia de un resistor que tiene una resistencia de 50 ohms? Según lo dicho

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{50 \text{ ohms}} = 0.02 \frac{1}{\text{ohms}} = 0.02 \text{ mhos}$$

Concluimos, por lo tanto, que la distancia vertical que nos ocupa es de 0.00275 mho. En la práctica resulta inconveniente manipular fracciones decimales, y en lugar de usar el mho aproximamos estas distancias en micromhos, del mismo modo que usamos ohms en resistencias muy pequeñas, usando el mhoche en lugar del ohm. Como muestra significa milonésimos parte de, se debe

$$1 \text{ micromho} = \frac{1 \text{ mho}}{1000000} = 10^{-6} \text{ mhos}$$

Por lo tanto

$$0.00275 \text{ mhos} = 0.00275 \times 1000000 \text{ micromhos} = 2750 \text{ micromhos}$$

Tal como la hemos definido y medida en mhos o en micromhos, como más lo conviene, la distancia vertical por volt es llamada conductancia vertical o mejor transconductancia del triodo. Se la designa con el símbolo g_m .

Una de estas varias características, factor de amplificación (μ , o distancia de placa, r_p) y transconductancia (g_m) es superabundante. Baste en su caso de decir que sólo necesitamos dos de ellos para describir la forma general de las curvas características. En efecto, usted mismo puede observar que

$$\text{inclinación de las curvas} = \frac{\text{separación vertical en amperes por volt}}{\text{separación horizontal en volts por volt}}$$

y según hemos deducido a estas ecuaciones

$$g_p = \frac{G_m}{\mu} \quad (3)$$

y puesto que

$$g_p = 1 + r_p \quad (4)$$

En nuestro caso hemos obtenido para la 6J5, $\mu = 20$, $r_p = 7200$ ohms, $G_m = 0,00275$ mhos. Verificando la ecuación (4)

$$g_p = 0,00275 \times 7200 = 19,8 \approx \mu$$

La pequeña discrepancia que resulta se debe simplemente a la imprecisión de leer exactamente los valores gráficos.

Ejemplo. El factor de amplificación del triodo 6X5 es el de 90 su transconductancia es de 3000 micromhos. ¿Cuál es su resistencia de placa?

Solución. Involviendo los términos de la ecuación (4) se tiene

$$r_p = \frac{\mu}{G_m}$$

Ahora bien, 3000 micromhos equivalen a 0,003 mhos, es decir, 0,003 amperes + volt. Luego

$$r_p = \frac{90}{0,003 \frac{\text{amperes}}{\text{volt}}} = 10,000 \frac{\text{volt}}{\text{amperes}} = 10,000 \text{ ohms}$$

Ejercicio. En el triodo 6X5 se tiene, según el manual, $\mu = 100$; $G_m = 1500$ micromhos. ¿Cuál es su resistencia de placa? Respuesta: 66,600 ohms.

Ejercicio. La resistencia de placa de un triodo 2A3 es de 300 ohms y la transconductancia de 5250 micromhos. ¿Cuál es el factor de amplificación? Respuesta: 4,2

Los fabricantes europeos suelen dar la transconductancia en miliamperes por volt en vez, miden la distancia vertical en miliamperes en lugar de amperes. Y dado que

$$1 \text{ amperes} = 1000 \text{ miliamperes}$$

$$1 \frac{\text{amperes}}{\text{volt}} = 1 \text{ mho} = 1000 \frac{\text{miliamperes}}{\text{volt}} = 1000 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$1 \text{ mho} = 1000 \text{ 000 micromhos} \quad 1 \text{ micromho} = \frac{1}{1000} \frac{\text{miliamperes}}{\text{volt}}$$

y de aquí se deduce con un pequeño esfuerzo mental:

$$\text{transconductancia en micromhos} = 1000 \times \text{transconductancia en } \frac{\text{mA}}{\text{volt}}$$

$$\text{transconductancia en mhos} = \frac{1}{1000} \times \text{transconductancia en } \frac{\text{mA}}{\text{volt}}$$

Ejemplo. La transconductancia de un triodo ECC40 es de $2,7 \text{ mA/V}$. ¿Cuál es su valor en mhos y cuál en micromhos?

Según lo anterior se ve, evidentemente

$$\text{es } 2,7 \frac{\text{mA}}{\text{V}} = 0,0027 \text{ mho} \quad 2700 \text{ micromhos}$$

Ejercicio. La sección triodo de la válvula de doble propósito ECC1 tiene una transconductancia de $2,2 \text{ mA/V}$ y una resistencia de placa de 9000 ohms. ¿Cuál es su factor de amplificación? Respuesta: 20

8.4 Otra interpretación de los factores del triodo. Los factores del triodo se pueden interpretar también en otra forma que muchas prefieren a la anterior, aunque es menos objetiva. Veámosla a través de una ilustración de prueba de la Fig 21, donde suponemos que experimentamos con un triodo 6X5. Hagamos $e_c = 180$ volts y $e_b = -2$ volts. La corriente de placa es (véase a Fig 23) de 8 mA. Variemos la tensión de placa en sentido positivo llevándola a 100 volts, dejando e_c inalterada. La corriente varía, también en sentido positivo, pasando a 13,5 mA. ¿Cuánto hubiera variado la corriente de placa si la variación de la tensión de placa se hubiera limitado a 1 volt? Es fácil darse cuenta que, si vamos aproximadamente

la variación de la corriente de placa que corresponde a la variación de 1 volt de la tensión de placa, con $e_b = -2$

Variación de la corriente de placa en amperes para 40 volts de variación de la tensión de placa, con $e_c = -2$
= Variación de la tensión de placa (= 40 volts)

$$= \frac{13,5 \text{ mA} - 8 \text{ mA}}{40 \text{ V}} = \frac{5,5 \text{ mA}}{40 \text{ V}} = \frac{0,0055 \text{ A}}{40 \text{ V}} = 0,001375 \text{ A/V}$$

Se observa que esta relación es el mismo que obtuvimos anterior mente al calcular la conductancia de placa del mismo triodo y es aquí que sea así, puesto que hemos realizado las mismas operaciones. Llamando con diferente nombre a los granderos que intervenían. Podemos decir por lo tanto, que la conductancia de placa del triodo es la variación de la corriente de placa por cada volt de variación de la tensión de placa cuando la tensión de red queda constante. Para representar las variaciones, los matemáticos usan el símbolo Δ (delta) antepuesto a la cantidad que se supone varía. Δ , significa, simplemente, "una variación de la cantidad". Es una abreviatura, y la relación expresada más arriba se escribe entonces en forma mucho más breve

$$g_p = \left[\frac{\Delta i_p}{\Delta e_b} \right] \quad e_c = \text{const} \quad (5)$$

Los hacen $e_c = \text{const}$ significa que para la determinación de g_p no debe variarse e_c . Si usted prefiere, puede indicar el valor de e_c con el que se hace el cálculo, por ejemplo $e_c = -2 \text{ V}$ en nuestro caso.

Dado que la resistencia de placa es la recíproca de la transconductancia, con lo entonces

$$r_p = \left[\frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} \right] e_g = \text{const.} \quad (5)$$

Del mismo modo también puede verificarse que

Variación de la corriente de placa que resulta de una variación de la tensión de rejilla, con $e_g = \text{const.}$

$$\text{Transconductancia} = \frac{e_p = \text{const.}}{\text{Variación de la tensión de rejilla}}$$

o, en forma abreviada

$$g_m = \left[\frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} \right] e_g = \text{const.} \quad (7)$$

Para interpretar el nuevo significado del factor de amplificación, partiendo del punto ya considerado $e_g = 130$ volts, $e_p = 2$ volts e $i_p = 8$ mA. Damos a e_g una variación positiva de 2 volts $\Delta e_g = 2$ V, pasando así a $e_g = 132$ V. La corriente de placa aumenta así a 13,5 mA. Dejando e_g en 0 y disminuyéndola a tensión de placa a 80 volts, es decir dándole una variación negativa de 50 volts ($\Delta e_g = -50$ V). Observemos ahora que la corriente de placa vuelve al valor primitivo de 8 mA. La variación de la corriente de placa producida por una variación positiva de 2 unidades de rejilla se ve compensada por una variación negativa, de gran valor, de la tensión de placa. Pagamos la relación entre estas dos variaciones

$$\left[\frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} \right] \text{ que dejan constante } i_p = \frac{40 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 20$$

Se observa que si no fuera por el signo negativo, esta está dando verdaderamente el valor del factor de amplificación. Si cambiamos el signo del cociente de las variaciones, tenemos entonces

$$\mu = - \left[\frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} \right] i_p = \text{const.} \quad (6)$$

Expresé usted mismo la definición de μ según la nueva interpretación. De donde diga con palabras la que se resumen a 5 días con palabras.

El nombre de factores variacionales (o diferenciales) es justificado ahora cuando se lo aplica en forma genérica a μ , r_p y g_m en las definiciones, en efecto, cuando las relaciones que existen entre variaciones o diferencias de corriente y tensión.

Ejemplo. Calcule los factores variacionales de un triodo 6J5 y 6C6 partiendo de diferentes puntos dados en las Figs 23 y 24.

Plantea. Se está ya considerando de mostrar una relación como la de la Fig. 21 determine experimentalmente los factores variacionales y compare los resultados con los que obtiene utilizando las Figs 23 y 24.

Creo. Fíjese en interpretar el significado de los factores variacionales sobre las características (curvas de vinculación de placa que se dan en la Fig. 23, para el triodo 6J5 en términos de la amplificación y las distorsiones de y sobre las curvas. Observe en particular el significado de g_m con respecto a las pendientes de estas características) o la transconductancia misma. ¿Lo entenderá en sus observaciones?

En el Apéndice al final de este libro continuamos tratando algo más sobre triodos, siguiendo la nomenclatura correlativa de los párrafos. No lo incluimos aquí por no considerarlo de estudio indispensable y lo dejamos para otra oportunidad.

3. TETRODOS Y PENTODOS

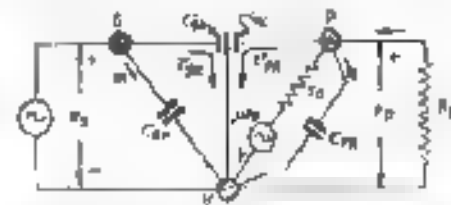
7.1 — La rejilla pantalla. En el Apéndice se explica de qué manera la carga del circuito anódico de un triodo se refleja sobre el circuito de rejilla determinando los efectos principales

- Aumento de la capacitancia aparente ofrecida al generador
- Transferencia de energía sea del circuito de rejilla al de placa, carga de placa capacitiva) sea del circuito de placa al de rejilla (carga de placa inductiva)

Ambos efectos constituyen serios inconvenientes para las aplicaciones más importantes del triodo. Podrá argüirse, sin embargo, que en ciertas casos esos efectos se aprovechan para lograr determinadas fines, por ejemplo, en algunos tipos de osciladores, pero nos estamos en una desviación al que Dios quiere fuera del control del proyecto.

La causa de los mismos hay que buscarla en la presencia de la capacitancia interelectrónica C_{gp} . La Fig. 56 muestra, en efecto, que tal el capacitancia está vinculando entre sí los circuitos de rejilla y de placa y ofrece un camino por el cual es posible el intercambio de corrientes entre ambos circuitos. Después de cada, los dos efectos que mencionamos separa-

Fig. 56. Interacción entre los circuitos de rejilla y de placa. Se muestra el efecto de la capacitancia interelectrónica C_{gp} que vincula los circuitos de rejilla y de placa. La Fig. 57 muestra el efecto de la capacitancia interelectrónica C_{gp} que vincula los circuitos de rejilla y de placa. La Fig. 58 muestra el efecto de la capacitancia interelectrónica C_{gp} que vincula los circuitos de rejilla y de placa.



blemente tienen la misma raíz y radican en ese trasiego de corriente de un circuito a otro. Cuando la corriente es puramente del tipo capacitiva, se dice cuando resulta sólo un adelanto en fase de 90° con respecto a e_g , el resultado es el aumento de la capacitancia de entrada aparente; cuando dicha corriente tiene una componente en fase con e_g , aparece una tensión positiva entre rejilla y cátodo; cuando hay una componente en fase con e_p , entonces aparece finalmente una resistencia negativa.

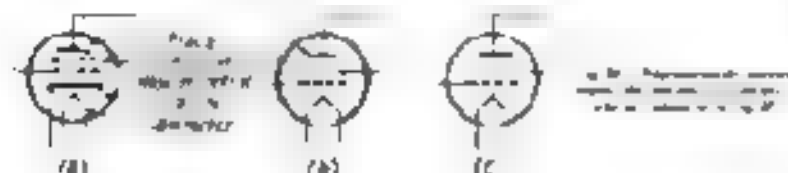
La supresión virtual de este intercambio exige la eliminación de C_{gp} . ¿Cómo puede lograrse? La Fig. 56 muestra una modificación del triodo que evita el efecto de la Fig. 56 donde se ven los efectos que no ocupan la vida deseada hacia el cátodo gracias al agregado de una tercera armadura en C_{gp} conectada al cátodo. El espaciador C_{gp} queda así descompuesto en dos capacitancias, C'_{gp} y C''_{gp} tales que ambas tienen una armadura conectada al cátodo. De este modo, C'_{gp} queda en paralelo con C'_{gp} y forma una capacitancia total de rejilla a cátodo $C_{gp} = C'_{gp} + C''_{gp}$.

1 Para entender en tres palabras el efecto de esta acción, véase el Apéndice, en el que se trata de compensar por qué manera se logra el efecto.

igualmente. C_{12} viene a quedar en paralelo con C_{11} para formar la capacitancia total de placa a cátodo $C_{12} = C_{11} + C_{12}$. Mientras tanto, ninguna corriente puede existir ya entre las placas G y P , puesto que las que podrían primariamente se van derivando hacia el cátodo por medio de una conexión a tierra.

El problema consiste ahora en realizar un tubo que satisfaga a al cual mantenga el cátodo equivalente de la Fig. 2. La solución a este problema

Un tetredo no es más que un tubo en el cual a la vez se coloca la placa del ánodo, cátodo, rejilla, ánodo, se le ha agregado una segunda rejilla interpuesta entre la primera y la placa. La Fig. 4 muestra un tubo de los tipos convencionales que se utilizan para la representación de las teo-



das en los circuitos de radio. La nueva rejilla se llama rejilla pantalla o rejilla $N^{\circ} 2$; la otra, para distinguirla de ésta se llamará en adelante rejilla de control o rejilla $N^{\circ} 1$. El nombre peculiar de rejilla aplicada al nuevo electrodo se justifica porque su estructura es similar a la de la rejilla de control, un alambre enrollado en hélices cilíndricas. Tiene que usarse este tipo de construcción por fuerza, pues los electrones a ser permitidos que los electrones sean recogidos, como antes, por la placa. En el caso ideal, la pantalla se debería recoger otra corriente que las I_{p1} e I_{p2} de la Fig. 25. Téngase presente que estas corrientes, o mismo que C_{12} e C_{11} no tienen nada que ver con las acciones emitidos por el cátodo, al menos en efecto, existen igualmente y son aproximadamente las mismas sea que el cátodo sea abierto o sea cerrado. Los electrones que se dirigen a la pantalla deben permitir el paso de los electrones escapados hacia la placa. La acción derivadora que representamos en la Fig. 25 no es, a causa de la construcción abierta de la pantalla, perfecta, las rejillas y la placa de un tetredo forman un sistema de tres electrodos y como en cualquier sistema de tres cuerpos hay capacitancia entre dos cualquiera de ellos, por lo tanto, hay en el tetredo una capacitancia C_{12} residual, pero no sea construido adecuadamente se reduce a un valor muy pequeño. En la máxima parte del valor que tendría C_{12} si se suprimiera la pantalla. En un tetredo tipo antiguo, el tipo 24-A, C_{12} se reduce a sólo 0,007 μF . Tal "construcción adecuada" toma a menudo la forma que muestra la Fig. 26, en ella la acción "de pantalla" de la rejilla $N^{\circ} 2$ se completa agregando un blindaje inferior que rodea con completamente a la placa.

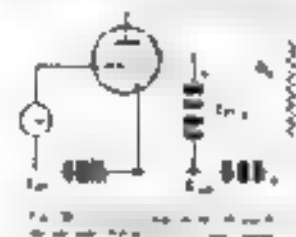
En la práctica, para que el tetredo funcione, no es posible unir la pantalla eléctricamente (es decir, con un conductor metálico de resistencia casi nula) al cátodo. En efecto, si la pantalla se pusiera de este modo al mismo potencial que el cátodo, los electrones liberados por éste serían frenados por la pantalla y devueltos en su mayor parte a su fuente. La corriente de placa sería así prácticamente nula. Por eso es necesario aplicar un potencial positivo a la pantalla, tal como se

se en el circuito típico de utilización que muestra la Fig. 26. No es importante prever para la polarización de pantalla una fuente de características adecuadas. Para que la pantalla funcione como tal es necesario que permita el libre paso de las corrientes I_{p1} e I_{p2} hacia el cátodo. Estas corrientes sólo se presentan cuando hay aplicada una tensión alterna a la rejilla de control, y son necesariamente alternadas. Por lo tanto, la fuente de tensión de pantalla debe ofrecer una tensión en el orden de un voltio a un voltio y medio de la frecuencia aplicada a la rejilla de control. Esta cuestión es de fundamental importancia, pero muchas veces se la olvida. Para prever los riesgos de impedancia despreciable se acostumbra a conectar anteriormente un capacitor de bastante capacitancia entre la pantalla y el cátodo.

Ahora bien, si el cátodo está rodeado por un dos rejillas, una de las cuales es la pantalla (que se mantiene a un potencial constante), la acción de la placa sobre la región cercana al cátodo, allí donde son decisivas las fuerzas que obran sobre los electrones, sólo se manifiesta a través de la rejilla de control y de la pantalla. Si ésta estuviera constituida por un cilindro de paredes lisas, dicha acción sería nula; si a tal cilindro le practicáramos algunos pequeños agujeros, la acción sería muy débil, fácil de comprender. Si agrandamos los agujeros y aumentamos su número la acción es algo mayor, pero, en realidad, con esta construcción práctica en hélices de la pantalla, de amplias aberturas, su presencia, a potencial constante, es suficiente para debilitar considerablemente la acción de la placa. En consecuencia, la corriente total a través del tubo depende muy poco del potencial de la placa. Con la pantalla positiva, la corriente total abandonada por el cátodo se reparte entre la pantalla y la placa. Dada la construcción de la pantalla, los electrones al pasar la atraviesan en su mayor parte sin dificultad, colándose por las amplias aberturas, y llegan finalmente a la placa si ésta es cargada positiva. Sólo los electrones que siguen trayectorias que los llevan a chocar directamente con las aberturas de la pantalla, o que pasan muy cerca de éstas, son atraídos por el tubo control y devueltos hacia el cátodo. Asumiendo que la mayor parte de los electrones que chocan con la placa, se comprende que la corriente de placa resulte, en principio, muy poco sensible a las variaciones del potencial de placa. A valores de las grandes, corresponden valores de, pequeños, y puesto que el efecto de estas variaciones es la resistencia de placa, resulta que la resistencia de placa de los tetredos es muy alta debido a la acción de la pantalla.



Fig. 26. Construcción de un tubo con pantalla y blindaje inferior. (a) cátodo; (b) rejilla de control; (c) rejilla pantalla; (d) placa; (e) blindaje inferior.



Factores comparativos del triodo 6J5 y el pentodo 6BJ7

	6J5	6BJ7	6BJ7 (como triodo)
S_m	2600	1650	2500 μ mhos
r_p	7700	70' (aprox.)	7400 ohms
μ	20	1650 (aprox.)	19
Corriente de placa	0	3	92 mA
Condiciones de medición			
E_c	-6	-3	-135 volts
E_b	250	350	250 volts
E_{c2}	-	100	volts

Los factores del pentodo se pueden reducir aún más por las relaciones entre las variaciones Δs_p , $\Delta \mu$ y Δs_a exactamente como en el caso del triodo. Deberá tenerse en cuenta, sin embargo, que la relación de pantalla se sumará exponencialmente. A las fórmulas de las págs. 35 y 36 deberá agregarse, entonces, $s_a = \text{constante}$.

Para meritos adicionales conviene definir otro juego de tres factores que expresen las relaciones entre las variaciones de la densidad de pantalla, la corriente del mismo electrodo y la tensión de rejilla. Los que importan son

Resistencia variacional de pantalla

$$r_p = \left[\frac{\Delta s_p}{\Delta E_c} \right] \frac{E_c}{s_a} = \text{const.}$$

y el factor de amplificación rejilla de control-reja de pantalla

$$\mu_{pr} = \left[\frac{\Delta s_p}{\Delta s_a} \right] \frac{s_a}{s_p} = \text{const.}$$

Los pentodos ofrecen, en general, importantes ventajas sobre los triodos, las cuales, generalmente, son consecuencia de la reducción a cero o valores muy bajos de la capacitancia C_{cp} . Es muy importante observar que efectos similares a los que esta capacitancia produce pueden obtenerse por causa de conseguir otra capacitancia exterior que, en el montaje práctico del tubo, venga a quedar conectada entre la placa y montaje práctico del tubo, venga a quedar conectada entre la placa y la rejilla de control en forma más o menos directa. Por eso, cuando quieren aprovecharse al máximo las cualidades de este género de tubos, deben capacitancias debidas evitarse a toda costa, recurriendo a la adecuada disposición de las desbarras que forman los circuitos de placa y de rejilla y de sus conexiones y sobre todo cuando se trabaja en alta frecuencia, al blindaje de las bobinaduras, las partes del circuito e incluso el de la válvula.

7.5.—Tetrodos de haces electrónicos. Un tubo de haces electrónicos es un tetrodo en el que la acción de la rejilla supresora se consigue eligiendo a los electrodos primarios a marchar hacia la placa a modo de haces. Con una construcción especial se logra que estos haces se estrechen en la región comprendida entre la pantalla y la placa, a fin de

determinar así una carga espacial suficientemente densa como para desenvolver los electrones secundarios a la placa.

La construcción estudiada se muestra en la Fig. 32. Se detalla más importante consiste en que la rejilla de control y la de la pantalla tienen igual número de espigas, igualmente espaciadas, y alineadas de modo que los alambres de la pantalla quedan a la sombra electrodinámicamente hablando, de los de la rejilla. Las hornos perturbadora de las espigas de las rejillas se eliminan evitando que los electrones que pasan por su proximidad lleguen a la placa por medio de las dos pantallas de protección que se ven en la figura, las cuales están unidas al cátodo. Estas placas contribuyen así a dar a los haces la sección rectangular que se aprecia en la figura.

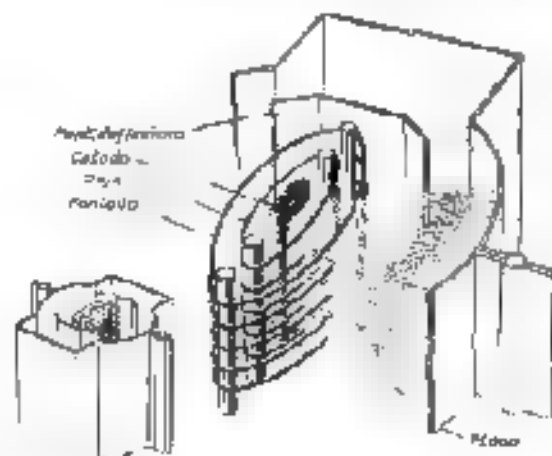


Fig. 32. Construcción de un tubo de haces electrónicos.

La Fig. 33 muestra las características de placa del tetrodo 61A. Se observa que el crecimiento inicial de la corriente es muy rápido y que las curvas se aplanan en seguida. También se nota que el principio de las curvas de $s_a = 70$, $s_p = 25$ etc. hay un ligero efecto de curvatura secundaría. Ambos efectos se explican porque la acción supresora de los haces se regula, en cierto modo, automáticamente. Pensemos de plano bajas hacen menos concentrados los haces, disminuyendo su fuerza regulativa, la corriente puede atravesar entonces sin el obstáculo que representaba la rejilla supresora en el pentodo. A la vez, cuando la corriente está limitada por la rejilla de control a un valor muy bajo, el número de electrones en los haces es suficiente para que la acción repulsiva sea eficaz; por eso perduran los efectos de la emisión secundaria en las condiciones anotadas más arriba.

La formación de los haces aporta una ventaja adicional. Hallándose la pantalla en la sombra de la rejilla de control, pocos son los electrones interceptados por aquella. La corriente de pantalla es por eso mucho menor que en los pentodos comunes de tamaño similar.

77 Válvulas de 'supercontrol' Se ve en el Apéndice que la ganancia de un pentodo puede considerarse como directamente proporcional a su transconductancia en la región de la red. Aumentando las características y el uso de μ_{eff} es tal que la transconductancia depende de la tensión de rejilla de control y disminuye rápidamente al au-

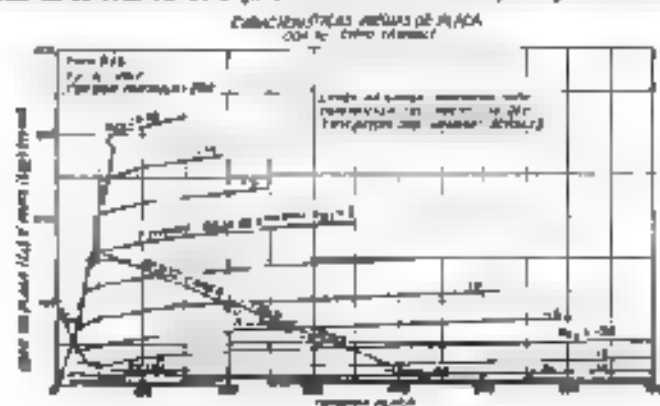


Fig. 76. Características de placa para una válvula de supercontrol.

mentar el valor negativo de ésta. Por consiguiente, podría pensarse en variar la tensión negativa de la rejilla de control para modificar la ganancia de un tubo amplificador. La necesidad de controlar la ganancia es primordial, por ejemplo, en los receptores, los cuales se sintonizan indistintamente sobre radiobúsqueros de muy diferentes potencias y que se ha en la distancia con respecto de otros. El control de la ganancia por medio de la tensión de rejilla ofrece la ventaja de que puede hacerse en forma automática gracias al dispositivo de control

un control de volumen o de sensibilidad. Este método de control aplicado a la 6X4T (ver Fig. 76), sin embargo, a resultados desastrosos. La razón está en que cuando en esta válvula la tensión negativa de rejilla es de 5 volts, la corriente de placa se corta de un modo casi retardado. Así, si con 5 volts en rejilla se pretendiera manejar tensiones e_s de 2 volts de amplitud, la corriente de placa se acortaría para los valores instantáneos de e_s comprendidos entre -1 volt y 3 volts. Si e_s es senoidal i_p distorsiona mucho de e_s por lo tanto, para disponer de un control de esta clase deben buscarse



Fig. 74. Construcción de un periodo de 'supercontrol' en una válvula.

de este corte, lo mismo podría con e_s puesto que siendo $e_s = -e_g R_1$, viene la misma forma de onda que i_p . Trasfieren mucho más importantes ocurren en la realidad cuando las tensiones que se aplican tienen una forma más complicada que la senoidal, pero no podemos estudiarlas aquí.

Por lo tanto, para disponer de un control de esta clase deben buscarse

válvulas en las cuales la transconductancia disminuya paula a paula al aumentar la tensión negativa de rejilla, sin que se produzca un corte repentino de la corriente de placa. Para resolver este problema basta con observar que la transconductancia de un tubo depende estructuralmente de la superficie activa del cátodo, de la distancia entre el cátodo y la rejilla de control y del espaciado de los alambres de ésta. Aumentando al disminuir el radio de la rejilla o el espaciado de los alambres. De los dos últimos factores depende también la tensión de corte de la válvula, es decir, la tensión negativa de rejilla para la cual se intermite la corriente de placa, pues la dependencia es directa a mayor radio y menor espaciado, menor tensión de corte.

Construyamos ahora una rejilla especial. Imaginemos que el espaciado es menor en los extremos de la hélice que en el centro, tal como se ve en la Fig. 74. Con una tensión negativa baja, la corriente fluye a través de todas las secciones de la rejilla y la transconductancia será la que corresponde a μ_{eff} para el radio r y el espaciado s de los alambres. Si se aumenta la tensión negativa, la corriente se reduce y la transconductancia disminuye.

Como se ve en la Fig. 74, la transconductancia disminuye al aumentar la tensión negativa de rejilla. Pero para cortar completamente la corriente es necesario que la tensión negativa alcance el valor de corte que corresponde a la parte más espaciada de la rejilla. Mientras tanto, la transconductancia ha venido reduciéndose poco a poco. En el pentodo 6X4T, por ejemplo, la transconductancia es de 2000 amperes por voltio para $e_g = -5$ volts y se reduce a 10 amperes cuando $e_g = -25$ volts, valor para el cual recién se anula la corriente de placa. Con $e_g = -20$ volts, se podrían por lo tanto manejar tensiones alteradas de rejilla de 5 volts de amplitud sin distorsión excesiva, pero con una tensión fija de -30 volts la transconductancia es de sólo unos 25 amperes. Es posible, pues, reducir la ganancia en la relación $2000 \div 25 = 80$ por el método de la variación del potencial negativo de la rejilla de con-

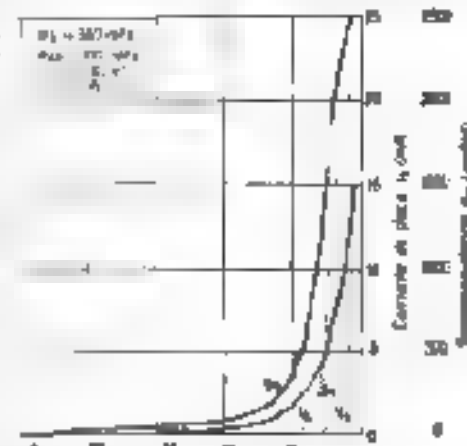


Fig. 78. La transconductancia y la corriente de placa en función de la tensión de rejilla de control.

cul. Con pautas comparativas, la Fig. 35 muestra cómo varían la transconductancia y la resistencia de la rejilla de control.

Las válvulas que emplean este tipo de rejilla se llaman de supercontrol, de control remoto y, también impropriadamente, válvulas de μ variable.

6. OCHO TIPOS DE TUBOS ELECTRONICOS

En las repeticiones anteriores hemos examinado los principios generales que rigen el funcionamiento de los tipos básicos de tubos electrónicos. Ahora vamos a estudiar los tipos de tubos de otras clases, destinados a aplicaciones especiales. Nos proponemos pasar, en el presente capítulo, rápida revista a los más importantes.

6.1.—Válvulas combinadas o múltiples. Las conocemos así y así, según de doble o triple propósito al agrupamiento de dos o más válvulas simples, sean diodos, triodos o pentodos, en una misma ampolla. Muchas veces la corriente de arranque proviene de un único cátodo, pero no recorda por diferentes placas y controladas, si es el caso, por rejillas independientes. En otras ocasiones hay un cátodo independiente para cada una de las unidades que forman el conjunto. Estas válvulas reciben nombres especiales según sea su composición. Tenemos así: doble-diodos (dos diodos con cátodo común o no), doble-triodos (dos triodos doble-diodo-triodo, triodo-pentodo, etc. La mayoría de las veces, el fin último que se persigue con estas disposiciones es la reducción de costo y de espacio: hay casos, sin embargo, en que las unidades del conjunto actúan interdependientes por vista a finalidades especiales.

6.2.—Válvulas con más de tres rejillas. Para fines especiales se han diseñado algunas válvulas con más de tres rejillas de control, de pantalla, de supresión y aun como placas. Se llaman, según el número total de electrodos, hexodos, heptodos y octodos, respectivamente. Aunque algunas veces con 5 rejillas se llaman simplemente pentodos.

En general, estas válvulas tienen por objeto obtener resultados especiales por medio del control del flujo electrónico con dos o tres rejillas independientes, aplicadas a otras tantas rejillas. Se las halla como "convertidores" o "moduladores" en los receptores y en otros aparatos.

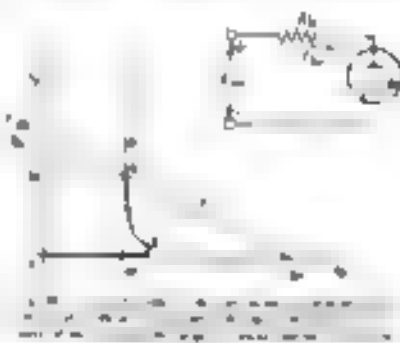
6.3.—Válvulas de cátodo caliente con gas. La presencia de gases o de vapores en la ampolla de una válvula de cátodo caliente tiene como acción principal la reducción de sus efectos propios de la carga. Esto se logra al introducir en la ampolla una cantidad de gas suficiente para que, al variar la tensión entre el cátodo y la placa, los iones positivos que se forman al chocar con el cátodo se atraen hacia la placa, donde se reanuda la corriente por el cátodo. Este tipo de válvulas se emplea en los aparatos de potencia.

Tanto por la acción de los gases como por la atracción de los iones positivos hacia la placa, la corriente de salida es mayor que la que se obtendría por la acción de la placa sola. Esto mismo se logra por la capacidad del cátodo para emitir electrones o por la carga con que se utiliza el tubo.

Son particularmente importantes en el grupo las *diodos rectificadores de mercurio*. Se trata de diodos de construcción más o menos convencional, en cuyos bulbos, una vez extraído el aire, se introducen algunos gramos de mercurio. Los vapores que se desprenden del líquido forman una atmósfera fácilmente ionizable.

La característica tensión de placa-corriente de placa de un diodo de este tipo, tiene, en términos generales y sin entrar a discutir el detalle, la forma general que muestra la Fig. 36, curva a b c. Cuando la tensión de placa es muy pequeña, la corriente varía como en un diodo de μ constante. A medida que la tensión de placa aumenta, la corriente está limitada por la carga espacial. Al alcanzar E_p unos 15 voltios, los electrones se aceleran lo suficiente como para comenzar a producir μ variable. La corriente aumenta rápidamente por los efectos de μ variable y se aproxima a la forma de la curva c. Si la tensión de placa continúa aumentando, la corriente se aproxima a la forma de la curva e (si no hay nada que la limite antes, dando origen a μ variable). Los efectos de la limitación de los electrones emitidos por el cátodo. En rigor, una vez iniciada la ionización, la tensión aplicada puede reducirse algo sin que ello impida el punto crecimiento de la corriente. Por eso, la forma peculiar de la curva. En la práctica, un tubo de esta clase debe usarse siempre con cierta impedancia en serie para limitar la corriente de salida de los iones. La curva e de la Fig. 36, es la que se obtiene en un tubo de este tipo.

La curva a b c de la Fig. 36, es la que se obtiene en un tubo de este tipo. La corriente se calcula en la forma habitual, por el trazado de la línea de carga. Se tiene así I_p como valor de la corriente y E_p como valor de la tensión entre placa y cátodo o rejilla de tensión en el tubo. En condiciones normales de funcionamiento, esta tensión es de 150 voltios y la corriente es de 100 mA. La curva d e de la Fig. 36, es la que se obtiene en un tubo de este tipo. La corriente se calcula en la forma habitual, por el trazado de la línea de carga. Se tiene así I_p como valor de la corriente y E_p como valor de la tensión entre placa y cátodo o rejilla de tensión en el tubo. En condiciones normales de funcionamiento, esta tensión es de 150 voltios y la corriente es de 100 mA.



En la redacción de la especificación de un tubo de este tipo, se indica el punto Q para la región c de la curva. La curva d e de la Fig. 36, es la que se obtiene en un tubo de este tipo. La corriente se calcula en la forma habitual, por el trazado de la línea de carga. Se tiene así I_p como valor de la corriente y E_p como valor de la tensión entre placa y cátodo o rejilla de tensión en el tubo. En condiciones normales de funcionamiento, esta tensión es de 150 voltios y la corriente es de 100 mA.

En estos tubos se sigue critica la temperatura del mercurio, que es la misma que la del bulbo. Cuando esta temperatura es baja, la evaporación del mercurio es poco activa, la densidad de la atmósfera es baja y la probabilidad de un choque ionizante, reducida. Resulta en-

laciona a la descarga luminiscente entre electrodos fríos. Lo esencial del fenómeno es que en el interior dos electrodos fríos chocan en un bulbo donde se ha fijado una mezcla o mezcla de gases en un vacío ultra alta de potencial creciente, se nota al principio una corriente muy escasa, que casi no puede medirse con aparatos comunes pero cuando la dis-

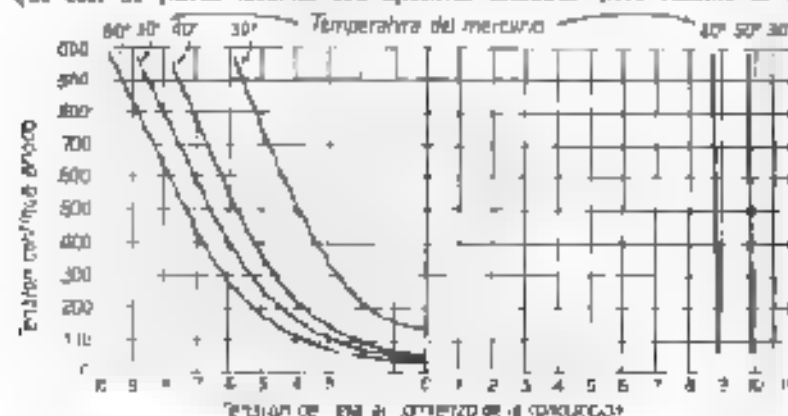


Fig. 38. Corriente de saturación de una válvula de rayos catódicos. La temperatura del mercurio en el cátodo afecta a la corriente de saturación.

ferencia de potencial excede de ciertos valores críticos, una corriente tubo bruscamente a valores del orden de las unidades o decenas de miliamperes. Al mismo tiempo aparece una luminiscencia de color característico, y la caída de potencial en el tubo se vuelve casi independiente de la corriente, siempre que ésta se mantenga dentro de ciertos límites. El valor de esta caída depende de la clase de gas y del material de los electrodos. Por lo común el gas es neón, argón o helio, y los electrodos son de hierro o de níquel o aleaciones especiales.

Algunas de estas válvulas se conocen comercialmente como "reguladoras de voltaje", esto es, con la denominación de un principio de operación. El circuito típico para esta aplicación es el que se muestra en la Fig. 40, que no requiere mayores explicaciones. El resistor en serie es necesario para limitar la corriente a través del tubo por debajo

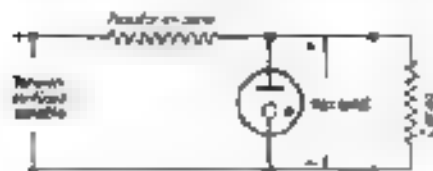


Fig. 40. Circuito típico de una válvula reguladora de voltaje.

del valor máximo tolerable. Minúsculas, son por las variaciones de la tensión aplicada, sea por las variaciones de la resistencia de la carga, la corriente a través del tubo se mantiene dentro de los valores como se desea por el fabricante, a menos que se mantenga casi constante dentro de 1 ó 2 por ciento de variación.

Tiempo comunes son el 0A3/VK75, en la cual la tensión es de 75 volts, 0A3/VK105, de 100 volts, y 0A3/VK150, de 150 volts. En los tres tipos las líneas de corriente son de 5 y de 40 mA para el mínimo y el máximo respectivamente.

Hay también válvulas de esta clase que tienen un tercer electrodo, llamado electrodo o dardo de arranque, dispuesto de tal modo que inicia la descarga cuando se le aplica un potencial menor que el que se necesitara aplicar a la placa para obtener el mismo efecto.

Debe notarse que en los diodos de este tipo, el potencial necesario para iniciar la descarga es siempre mayor que la caída de potencial que después se establece. En la 0A3, por ejemplo, se necesitan aplicar 300 volts entre los electrodos para ello.

Por último, aunque la generalidad de estas válvulas conducen en ambas direcciones, se ha logrado conseguir también de conducción unidireccional, es decir, aptas para trabajar como rectificadores. Un ejemplo es el tipo de Raytheon CK-09. Los rectificadores de cátodo frío son interesantes porque no requieren energía de calentamiento, resultan útiles, por lo tanto, para aparatos portátiles alimentados con acumulador o baterías, donde se requiere rectificar tensiones altas con bajas corrientes.

3.5 Tanques rectificadores ignitrones. Nos limitamos a mencionar aquí la existencia de estos rectificadores industriales, caracterizados por su gran campo de acción que depende de mercurio. Los tanques rectificadores se utilizan para obtener grandes corrientes a tensiones moderadas, por ejemplo, se que requieren las redes tranviarias, trenes o fábricas eléctricas. Los ignitrones son rectificadores controlables, como el tiristor, pero de mucho mayor capacidad. Se los utilizan en el control de soldaduras eléctricas y otras aplicaciones de tipo industrial.

3.7 — Tubos de rayos catódicos. Los tubos de rayos catódicos son tubos de vidrio en los que un cátodo o ánodo de electrodos calientes, por incidencia, la electrocución de una pantalla preparada al efecto. Utilizados primeramente en el cinematógrafo y otras aplicaciones especiales, el desarrollo de la televisión moderna los ha popularizado enormemente, ya que son parte indispensable de todo receptor.

Las partes esenciales del tubo de rayos catódicos son:

a) El cátodo electrónico, que contiene el cátodo ánodo y los electrodos que permiten formar y controlar el haz o pincel. La Fig. 41 muestra con bastante detalle la constitución de estas piezas. El cátodo es del tipo de calentamiento indirecto está formado por un cilindro de níquel recubierto por la sustancia activa y lleva un calentador de tungsteno. Aunque no se muestra en la figura, el cátodo va por lo común rodeado de otro cilindro de níquel sin finados, de diámetro apenas superior que el primero y que se proyecta algo más allá del extremo derecho del cátodo. Este tubo está al mismo potencial que el cátodo y su misión es la de dar a los electrones una primera orientación. Sigue después la rejilla o electrodo de control, también de forma cilíndrica, rodeado en el extremo derecho por un diafragma que lleva en el centro un pequeño agujero por donde pasan los electrones. Este electrodo desempeña las mismas funciones que la rejilla de un tubo común, es decir,

controla la cantidad de electrones que abandonan el espacio cátodo-anodo. Su \pm varía con un potencial negativo o ligeramente positivo según los diferentes tipos de cátodo.

Según después el *electrodo acelerador* o *primer ánodo*. También el *finísimo*, tiene un diafragma con abertura en el extremo que enfrenta al *dispositivo de control* y uno o dos diafragmas similares en otras partes del cuerpo. Estos diafragmas tienen por objeto eliminar aquellos electrones que divergen fuertemente y que no podrían después enfocarse en la forma debida.

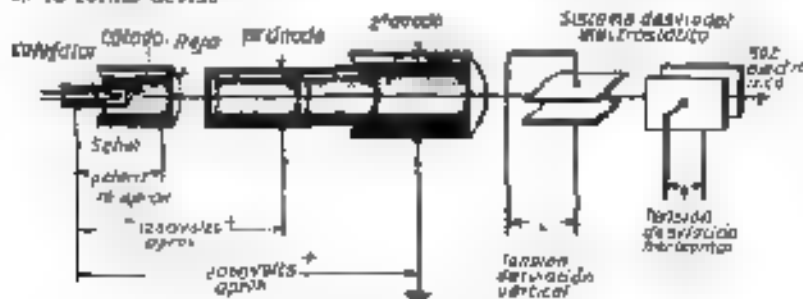


Fig. 4. Diagrama de un tubo electrónico que muestra la trayectoria de un haz de electrones.

El enfoque del haz en forma de *pencil* que presenta su máxima sección en el punto de incidencia con la pantalla, está principalmente a cargo de un *sistema de enfoque*, cilindro como los otros, y con o sin diafragma. Se le llama también *electrodo de enfoque*. El enfoque exacto se ajusta variando el potencial de este electrodo con respecto al del primer ánodo, que es fijo.

El control electrónico permite, pues, variar tanto la intensidad del haz como su enfoque. Ambos controles no son absolutamente independientes entre sí como sería deseable sino que el ajuste de uno se refleja sobre el del otro. En las buenas realizaciones este inconveniente no reviste mayor importancia.

b. La *pantalla fluorescente*. La cara exterior de la parte final del tubo, aproximadamente plana, revestida de material fluorescente constituye la pantalla del tubo. Varias sustancias ofrecen la particularidad de volverse luminosas, esto es de emitir luz de color determinado cuando se les somete al bombardeo electrónico. Estas sustancias se llaman que son fluorescentes y reciben el nombre general de *fósforos*. Se utilizan *fósforos* diversos en la práctica, atendiendo a sus tres principales características: rendimiento luminoso, color y persistencia. El rendimiento luminoso se expresa por el poder luminoso (lúmenes) producido por watt de potencia gastada para acelerar el haz, en la mayoría de los casos es de una *hija por watt*, pero alcanza hasta 5 ó más en ciertos casos. En las lámparas de alquitrán (incandescentes) se radiaba entre 1 ó 2 lúmenes por watt. El color depende de la composición química del *fósforo* los hay, principalmente azules, verdes, rojos y blancos. El blanco, exigido en televisión, se consigue por o combinando uno o más de los otros de otros colores. El verde se prefiere en las labora-

torios, y el azul, por su capacidad para impresionar placas fotográficas del tipo *pancrámico* (poder actúan o de emulsificación), en los trabajos donde la imagen obtenida en la pantalla debe fotografiarse finalmente, la persistencia es la duración de la fluorescencia tras haber extinguido el haz. Los *fósforos* se clasifican en *fósforos de corta*, de *mediana* o de *larga persistencia*. En televisión se usa el *fósforo* clasificado con P-4, de fluorescencia blanca y persistencia mediana. En el laboratorio se prefiere el P-1, verde de mediana persistencia, el P-11 azul de corta persistencia, o el P-7 verde-amarillento de larga persistencia.

c. El *sistema deflector* es el dispositivo que permite desviar al *pencil* electrónico de modo de llevarlo a incidir sobre, y por consiguiente a hacer *fluorescer* cualquier punto de la pantalla. Por lo común una parte de este sistema permite desviar horizontalmente el haz, y una segunda parte actúa en sentido vertical.

En la Fig. 51 se ilustra el sistema de deflexión, tomando *electrodo deflector*. Cada deflector consiste en un par de *planchas paralelas* antes al o algo abiertas hacia la pantalla, entre las cuales se aplica la tensión



Fig. 51. Diagrama de un sistema de deflexión.

deflectora. Cuando una de las *planchas* es positiva con respecto a la otra, la primera atrae a los electrones del *pencil* y éste se desvía correspondientemente. Si la tensión deflectora es alternada, el punto luminoso describirá entonces una línea luminosa recta en la pantalla. El segundo deflector trabaja en ángulo recto con el anterior. Combinando tensiones deflectoras horizontales con verticales, el punto se lleva a cualquier lugar de la pantalla. Y en esas tensiones con variaciones alternadas y están adecuadamente reguladas, se puede obtener que el extremo del *pencil* vaya explorando ordenadamente toda la zona rectangular bien definida de la pantalla. Si la exploración se completa en un tiempo igual o menor que el de persistencia, toda esa superficie se verá iluminada. La intensidad de la iluminación depende de la intensidad del haz y ésta del potencial del *electrodo de control*. Si el potencial de control se varía durante la exploración, la iluminación de la superficie es desigual, con zonas más o menos brillantes u oscuras. En televisión se consigue de esta suerte reproducir sobre la pantalla la imagen captada por la cámara de toma del transmisor.

Otro tipo de deflexión es el conocido como *electromagnético*. Usted sabe seguramente que los *campos magnéticos* actúan sobre las corrientes eléctricas imprimiendo sobre ellas y sus conductores una fuerza que es

proporcional al producto de la intensidad de la corriente por la intensidad del campo. En realidad no se trata de una acción sobre el conductor como ocurre con las manifestaciones de principio de interferencia sobre el campo magnético y las ondas eléctricas en movimiento. El campo magnético obra sobre los electrones llevados por el conductor, aplicándoles una fuerza desviadora; como los electrones no pueden desprenderse del conductor, transmiten esa fuerza a éste. La propiedad del conductor no es de ningún modo necesaria para que esa fuerza se manifieste. Por eso el mismo potencial desviador actuaría en cualquier material. La acción de éste lo desvía. Las líneas de la fuerza están siempre sobre una línea que en su la sea perpendicular a la que marca la dirección del movimiento de un electrón, y a las líneas de inducción magnética del campo. El sentido de la desviación depende del sentido de su rotación, variando el sentido de campo, se invierte el sentido de la desviación.

La deflexión magnética se consigue adicionando al tubo un par de bobinas deflectoras, dispuestas transversalmente con respecto al haz, y por las cuales se hace circular la corriente que ha de producir el campo deflectar. A veces una de las deflexiones se procura por el método electrostático, y la otra, por el magnético.

La acción del campo magnético sobre el haz de electrones se usa también para lograr el enfoque del plano. Se concentran así tubos con dos o tres electrodos y con volúmenes magnéticos y con deflexión electrostática, o con deflexión electromagnética, o con deflexión mixta.

La acción del campo magnético sobre el haz de electrones se usa también para lograr el enfoque del plano. Se concentran así tubos con dos o tres electrodos y con volúmenes magnéticos y con deflexión electrostática, o con deflexión electromagnética, o con deflexión mixta.

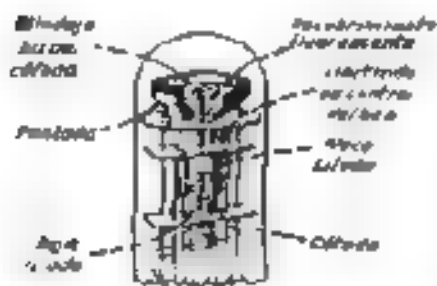


Fig. 44. Tubo de rayos catódicos con enfoque magnético.

2.1. Indicadores visuales (ojos mágicos). El ojo mágico u ojo eléctrico puede considerarse como un tipo de rayos catódicos en miniatura. Comprende por lo general dos partes: un triodo amplificador y la pantalla. La primera está formada por cátodo, rejilla y placa dispuestas en la forma habitual; la segunda, por un cátodo unido al ánodo, en control de un haz y una pantalla fluorescente. El cátodo de la segunda parte y la pantalla de forma plana están dispuestas en la forma que los electrones empuja por el primer y acelerados por el potencial que se aplica a la segunda, excitan la fluorescencia del material que recubre a ésta. El cátodo de control catalítico tiene forma de una lámina aplanada con su eje más largo paralelo al cátodo y su lado más ancho perpendicular a un radio que pasa por el centro del cátodo. La Fig. 43 ilustra esta disposición.

El cátodo de control viene así a proyectar su sombra sobre la pantalla, pues si es negativo con respecto a ésta desvía a los electrones que pasan por su proximidad. La 'sombra' aparece como un sector

oscuro en la pantalla, y su apertura o ángulo viene a depender del potencial del cátodo de control con respecto a la pantalla. La sombra desaparece cuando el cátodo y placa se unen a una pantalla y alcanza 90° (Fig. 40) gracias a que el cátodo es negativo. La Fig. 46 muestra la disposición esquemática del conjunto. El cátodo de control está unido internamente a la placa del triodo, y ésta, a su vez, pero por el cátodo y la rejilla que están unidos a la placa. Entre el cátodo y la pantalla se aplica una diferencia de potencial fija. Observe ahora que cuando el triodo no conduce, no hay corriente por el resistor R , y el cátodo de control queda al mismo potencial que la pantalla, porque no hay caída de tensión en R . Por lo tanto, el ángulo de sombra es nulo. Suponga ahora que el triodo comienza a conducir; hay corriente en R y caída de tensión; entonces el cátodo de control se hace negativo con respecto a la pantalla. Aparece sombra y su apertura dependerá de la corriente de placa del triodo. Ahora, como esta corriente depende del potencial de la rejilla del triodo con respecto a su cátodo, resulta que la tensión aplicada a la rejilla viene a controlar la apertura del ángulo de sombra. O, dicho en otros términos, el ángulo de sombra "mide" la tensión antecátodo. El tubo es, por lo tanto, una especie de voltímetro "a sombra" y como tal se lo usa en sus diversas aplicaciones.



Fig. 45. Tubo de rayos catódicos con enfoque electrostático.



Hay varios tipos de tubos de este tipo. Entre los americanos, por ejemplo, el 6ES5 y el 6L5/6L6 son representativos. Hay también el tipo CAP60, que tiene dos sistemas catódicos pero que carece de triodo amplificador; los dos sistemas tienen en este caso diferente sensibilidad. Existen tubos europeos de semejantes características.

2. ¿QUÉ MÁS HAY QUE SABER SOBRE VÁLVULAS?

El autor ha relatado cuidadosamente lo que antecede y lo ha depurado, agregando algunas cosas y suprimiendo otras. Ha procurado mantener un estilo simple porque prefiere exponer ideas propias y claras en una charla cordial, más bien que con la testarudez académica. Oree haber realizado una obra útil dentro de sus límites modestos y espera que usted se crea así.

Pero se pregunta también ¿hay algo más que decir? Evidentemente puede contestar que sí. Pero a su disposición una copiosa biblioteca de la cual ha leído algunas volúmenes y selegida (¿por qué no confesarlo?) la mayor parte a un simple papel decorativo. Le gusta escribir y podría llenar muchos otros con temas tal vez interesantes.

Hay muchas, muchísimas cosas que deberíamos discutir sobre las vá-

podrá encontrarse con 240 volts o con 200 volts. El rendimiento de un receptor no deberá sufrir necesariamente en consecuencia de esta variación de la tensión de alimentación si sus válvulas deben pasar a mayor voltaje en otros circuitos que el alto voltaje de que la tensión de la red suministra en un 10 %. Ahora bien, si el fabricante dice que la especificación máxima admisible de la tensión de placa es de 300 volts, y cuando se aplica la alimentación al tubo de tener esa tensión aplicada es la real hay 220 volts, las válvulas tendrán 70 volts en placa cuando la red haya a 240. La especificación ha sido cumplida y la vida de la válvula se mejora. Lo que usted debe hacer es proyectar un equipo de modo de tener en placa 270 volts con 200 en la red, de modo que además tendrá margen para que la red pueda llegar a 240. Si la válvula ha recibido más de 300 volts.

Las especificaciones muestran otros valores centrales de proyecto, en cambio, ya tienen en cuenta la posibilidad de la variación del 10 % de la tensión de la red. Usted puede hacer los ajustes con 200 volts en la red, con la confianza de que nada pasará cuando la tensión suba a 240. La tendencia actual es la de dar especificaciones centrales, y los fabricantes van poco a poco cambiando sus hojas de datos. Así, por ejemplo, los manuales de válvulas autorizadas hace algunos años a una cierta tensión de placa máxima de la 6L6, 400 volts. Era un máximo absoluto. Hoy se especifica 340 volts como valor central, lo que viene a ser exactamente lo mismo.

Mayores datos acerca de la interpretación de los regímenes máximos los encontrará usted en su manual de válvulas. En todo repetir los aquí.

Conviene, sin embargo, saber más que los regímenes máximos de las válvulas transisoras se dan como valores absolutos.


3-5—Válvulas de transmisión. El presente texto ha sido redactado teniendo especialmente a la vista los tipos de válvulas de recepción. Es claro que los principios generales de funcionamiento de las válvulas transmisoras son los mismos que los expuestos aquí. Las diferencias entre las válvulas de transmisión y las de recepción son más bien estructurales, en que de principio y razón de la necesidad de realizar construcciones capaces de manejar tensiones y potencias típicas y a veces miles de veces mayores.

Los problemas de construcción que por eso se presentan son realmente serios; sólo se los puede considerar como parcialmente resueltos en la actualidad, pero cabe esperar, sin duda, considerables perfeccionamientos en lo futuro.

No hay en los tubos transmisores normas definidas en cuanto a formas, bases, métodos, sistemas de refrigeración, etc., salvo, tal vez, en los tipos más chicos y modernos. El problema no es más de normalizar sino que sigue siendo el de construir mejores válvulas.

3-6 Transistores. El transistor tiende a desplazar, y lo ha hecho ya en medida considerable, a la válvula en muchas de sus aplicaciones. A

Véase Manual de válvulas de transmisión. Año 5. A. 1954. Bureau AEC.

pesar de su evidente importancia, no se ha considerado oportuno el desarrollo de la teoría y la práctica del transistor en este pequeño volumen, precisamente por no abultarlo demasiado por considerar que existen algunas publicaciones en castellano sobre el tema al *del Archivo* 

APENDICE

Al desarrollar los temas sobre triodos y pentodos debíamos dar los aspectos muy importantes, que no nos autorizamos a incluir, porque exigían al empleo de fórmulas algo más complicadas; esas fórmulas que tanto gustan a los estudiantes, en su iniciación, y que son útiles resultados.

Finalmente resolvimos capturar en el Texto o más indispensable y agregar al final este Apéndice de estudio voluntario. Esas son cosas que a muchos les resultará interesante y útil.

Hemos respetado la numeración de capítulos y párrafos, conservando la fluidez del tema y para mayor facilidad de quienes quieran aprovecharlos.

4.5. EL TRIODO EN LOS CIRCUITOS

5.5.—**Circuito del triodo.** Exactamente como ocurre con el diodo, aplicar voltajes fijos a un triodo no es un modo de conducir a otra cosa que a la realización de entretenidos experimentos, los cuales, en definitiva, nos muestran cómo reaccionan el tubo al cambiar los potenciales aplicados. El triodo empieza a ser útil cuando se lo usa para controlar la corriente en una carga, gracias a las propiedades de sensibilidad y ligereza que ya se han hecho resaltar.

Para mostrar estas ventajas basta citar un ejemplo de aplicación. Supongamos que se desea mantener constante la temperatura de un horno eléctrico, dentro, digamos, de un décimo de grado. Se podría lograr esta regulación "a mano". Por ejemplo, un operario observa la indicación de un termómetro colocado dentro del horno, el cual se supone que quiere mantenerse a una temperatura comprendida entre 60.0° y 60.1°. El horno se calienta por medio del calor de Joule desarrollado en unos resistores, tal como se hace en la cocina eléctrica. Cuando el operario observa que se acerca el límite superior de temperatura, 60.1°, corta la corriente. El horno comienza a enfriarse; el operario restablece la conexión a la corriente al límite inferior (60.0°) y así sucesivamente. Se comprende que la función del operario resulta extremadamente fatigosa y sujeta a errores que pueden tener graves consecuencias. La Fig. 45 ilustra una solución mucho más económica y eficiente.

El circuito de los resistores de calefacción se controla por medio de un relé o selector, cuyos contactos a y b están cerrados cuando no hay corriente en la bobina de excitación. Esta bobina está intercalada en el circuito de placa del triodo T, al cual se aplican los voltajes de placa E_{cp} y de rejilla E_{cr} , con último convenientemente negativo como para llevar a cero la corriente de placa. El termómetro que figura en la figura va dentro del horno y lleva un contacto con punta de platino, juntamente con la parte que el mercurio alcanza cuando la temperatura es de 60.1°. Este contacto está unido a la rejilla del tubo, a su vez la masa de mercurio un metal fijo está conectado al cátodo mediante la conexión que se muestra. El funcionamiento del

aparato es muy simple cuando la temperatura del horno es inferior a 60.0° la tensión E_{cr} está aplicada a la rejilla del tubo, a través del resistor R. No hay corriente en el triodo, el selector está desconectado, los contactos a y b están cerrados y el circuito de calefacción también cerrado. El horno se calienta. Cuando la temperatura alcanza los 60.1°, el contacto del termómetro se cierra, la rejilla se pone en conexión directa con el cátodo de modo que su potencial se reduce a cero, el tubo comienza, el relé se excita, los contactos a b se abren la calefacción se interrumpe. El horno empieza a enfriarse, el contacto de mercurio se abre, la rejilla vuelve a hacerse negativa, etc. El resistor R, que puede hacerse grande como se quiera, tiene por objeto evitar que el contacto de mercurio ponga en cortocircuito a la batería de rejilla. El capacitor C tiene una función auxiliar: impide que la rejilla alcance instantáneamente el potencial E_{cr} al abrirse el contacto debido a que toma cierto tiempo para cargarse. De este modo se permite que la corriente mercurio, bajo un poco antes de restablecerse la calefacción; de lo contrario podría ocurrir "tubofeo" en el relé a causa de que apenas interrumpido el circuito termométrico se cierra el circuito de calefacción, para volver a abrirse en seguida, al cabo de un ciclo de duración tal vez excesivamente corta.

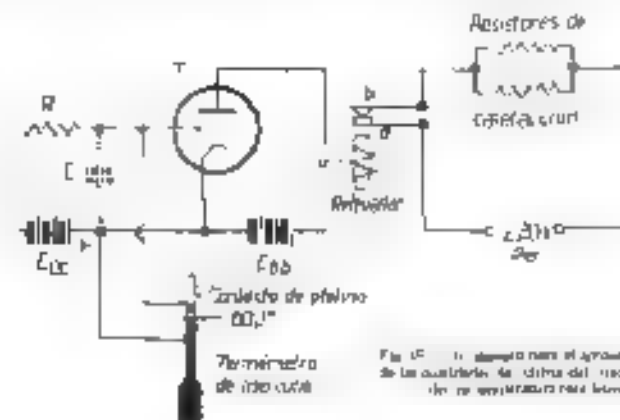


Fig. 45. Circuito para el control de la calefacción de la bobina de placa del triodo T. El relé de mercurio es de tipo 60.1°.

Con esta disposición, el termómetro puede hacerse muy sensible (señala mercurio, fina) ya que un contacto no lleva sino una corriente que puede hacerse del orden del microamperio. No sería posible con un termómetro de esta clase controlar directamente a el relé su propio mercurio al circuito de calefacción.

Para estudiar a detalle el funcionamiento del triodo cuando su carga de placa está cargada, conviene considerar el circuito básico de la Fig. 46, donde la carga está constituida por un resistor R_p . La disposición del circuito de placa es análoga a la que utilizamos en el caso del diodo (Fig. 12). Como entonces, se tiene que el potencial de la placa con respecto al cátodo es

$$\begin{aligned} e_p &= E_{cp} - R_p \\ e_p &= E_{cp} - i_p R_p \end{aligned} \quad (9)$$

También es fácil ver que el potencial e_1 de la rejilla con respecto al cátodo es

$$e_1 = E_m + e_2 \quad (30)$$

es decir, está compuesto por una parte fija, $-E_m$, que se llama tensión de polarización de rejilla y una parte variable e_2 .

El problema que queremos resolver consiste en determinar la corriente i_b y el potencial e_2 de placa, suponiendo conocidos E_m , $-E_m$, e_1 y E_b . Como antes, la dificultad radica en que e_2 e i_b dependen la una de la otra, según lo indica la ecuación (2). Se resuelve también del mismo modo. Sobre las características voltaje de placa-corriente de placa correspondientes al triodo en cuestión, se traza la línea de carga (Fig. 47) con el mayor procedimiento a fondo en el caso del diodo (véase el). Sabemos que todos los pares de valores de e_2 , i_b posibles en la instantánea corresponden sucesivamente a puntos de la línea de carga. Sea ahora $e_2 = 0$ entonces es

$$e_1 = -E_m + e_2 = E_m + 0 = -E_m$$

Por lo tanto, los pares de valores posibles de e_2 , i_b deben encontrarse sucesivos sobre la curva $e_1 = -E_m$ del mismo modo como en el diodo debían hallarse sobre la línea curva que nos basó en aquella ecuación para representar una propiedad. Se concluye que sólo puede existir el par de valores que corresponden al punto E de la figura, intersección de la línea de carga y de la curva $e_1 = -E_m$. Es decir, tenemos

$$e_2 = E_m$$

$$i_b = i_m$$

cuya valores en volt y en miliamperes se leen sobre los ejes

¿Qué pasará ahora si damos a e_2 el valor de 1 volt positivo? Veamos. Se tiene

$$e_1 = -E_m + e_2 = -E_m + 1$$

Los pares de valores posibles deben encontrarse sobre la curva que tiene esta misma ecuación en la figura. Por necesidad concurren al mismo tiempo sobre la línea de carga, el único par posible es el que corresponde al punto A , es decir, será ahora

$$e_2 = e_m$$

$$i_b = i_m$$

De igual modo, si se hace e_2 negativo e igual en magnitud a 1 volt ($e_2 = -1$), se tiene

$$e_1 = -E_m + e_2 = -E_m + (-1) = -E_m - 1$$

El par de valores posible corresponde al punto F , es lo que en la figura es $e_2 = e_m$ e $i_b = i_m$.

Se comprende que del mismo modo puede determinarse corriente y

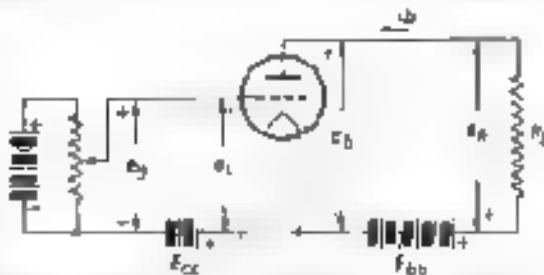


Fig. 47. Circuito de un triodo en configuración de cátodo común. Véase el texto.

tensión para cualquier valor positivo o negativo de e_2 , dentro, por supuesto, de los límites que permite el juego de variación disponibles.

Ejercicio. Un triodo 6J5 se coloca en el circuito de la Fig. 45, con $E_m = 320$ volts, $E_b = 1$ volt y $R_p = 20\,000$ ohms. Determine sobre las características de la Fig. 33 la corriente de placa que corresponde a los valores de e_2 iguales sucesivamente a 0, -1, 3, 1, 5, 6, 7 y 8 volts positivos, y después a los mismos pero de valores negativos.

Otro. Sobre un papel cuadriculado trace un par de ejes en ángulo recto y muestre sobre los ejes e_2 vertical y i_b horizontal. Sobre este diagrama trace la ecuación (2) de la Fig. 2 para obtener la curva voltaje de e_2 entre 0 y 8 volts. Sobre el triodo 6J5 trace la línea de carga de 3 a 10 mA. Sobre la curva de e_2 trace los pares de valores de e_2 e i_b obtenidos en el ejercicio anterior (tenga en cuenta que $e_2 = -E_m + e_2$) y trace las líneas resultantes con una curva de eficiencia sobre las curvas de la Fig. 33. Determine la eficiencia de transferencia del triodo 6J5 para $E_m = 400$ volts y $R_p = 20\,000$ ohms.

Otro. Repita los ejercicios anteriores, suponiendo que $R_p = 10\,000$ ohms, $R_h = 40\,000$ ohms, $R_g = 10\,000$ ohms y $R_p = 10\,000$ ohms. Trace la curva de eficiencia de la Fig. 33 correspondiente sobre las mismas ejes que se usaron en el ejercicio anterior y sobre sobre esta vez trace la curva de R_p que le corresponde. Compare las cuatro curvas entre sí y sobre una observación al ojo de la figura. ¿Cuál de las curvas es más interesante? ¿Cuál de ellas se aproxima más a una recta?

Práctica. Si usted se trabaja en condiciones de laboratorio, realice el montaje de la Fig. 46 adaptando al multímetro de 0-5 mA, más o menos, en serie con R_p , donde está la flecha de i_b , un voltímetro de 0-500 volts con placas variable y de alta resistencia interna; sobre la placa y el diodo, donde está la E_b de E_m . Añadan un voltímetro de 0-20 volts donde está la flecha de e_2 . Sobre e_2 trace en el primer elemento y sobre los valores de la corriente i_b que obtiene graficando en el mismo elemento. Para asegurarse que R_h y E_b tengan los mismos valores que cuando existían.

4.5 Teorema del circuito equivalente de placa. En muchos de las aplicaciones del triodo, más que los valores totales de e_1 , de e_2 y de i_b , interesa sus variaciones, y la relación que existe entre ellas. Y toda vez en una gran parte de los casos más que las variaciones de e_2 y i_b son necesarias comparadas entre sí, sobre totales. Es decir, pequeñas variaciones de e_2 que se comparan con las variaciones de i_b son más importantes que las variaciones totales.

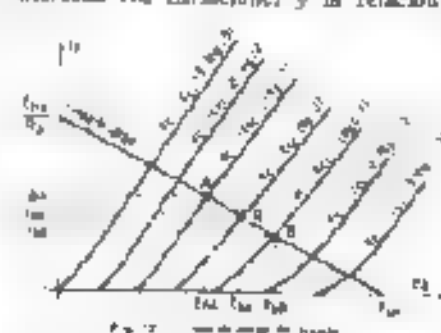


Fig. 48. Teorema del circuito equivalente de placa.

Es evidente, pues, que las variaciones de e_2 y i_b se pueden calcular del modo que acabamos de explicar; pero, afortunadamente, puede que es posible obtener una fórmula que vincule esas variaciones no sólo entre sí sino también con R_p , de modo que conociendo y sabiéndolo aparezca nos ahorramos el trabajo que supone el trazado de la línea de carga y la lectura gráfica de valores. Es en esta fórmula donde se comprende la utilidad de los factores variacionales del triodo.

Para obtener algo tan interesante vale la pena que nos dispongamos a

hacer un pequeño esfuerzo para comprender *destruido* lo que sigue, es decir, la demostración de la validez de la fórmula que es la más adelante distinguida con el número (16b).

La Fig. 46 es la misma que la 47, sólo que se han dibujado nuevas curvas para hacerla más clara. Cuando el voltaje total de red es E_0 en la Fig. 45, es igual a $-E_{00}$ la corriente i_a adopta el valor i_{a0} y la tensión es el valor E_{00} , valores que corresponden al punto Q. Ahora bien, si aplicamos a e_0 una variación positiva Δe_0 , pasamos a la curva $e_0 = -E_{00} + \Delta e_0$ (punto B), y los valores de corriente y de tensión adoptan los nuevos valores i_{a1} y E_{01} . Ha habido variación de corriente y de tensión que podríamos calcular restando a los valores nuevos los antiguos. La variación de la corriente, que llamaremos Δi_a , es, evidentemente, interpretamos la figura)

$$\Delta i_a = i_{a1} - i_{a0} \quad (11)$$

y la variación de la tensión, a llamamos ΔE_0 ,

$$\Delta E_0 = E_{01} - E_{00} \quad (12)$$

Nótese que la corriente ha aumentado, i_{a1} es mayor que i_{a0} . Del mismo modo que al voltaje ha disminuido, E_{01} es menor que E_{00} . Las fórmulas (11) y (12) dan cuenta de esto hecho, porque en la primera la resta indicaría nos daría un número positivo o al restaríamos valores. Así Δi_a resulta una variación positiva (en aumento) es decir, del mismo sentido, sigue que Δe_0 . En cambio, en la segunda, la resta da un número negativa, lo que expresa que ΔE_0 es una variación negativa una disminución, esto es, de sentido (sigue opuesto al de Δe_0).

Observemos ahora en la figura un hecho evidente. El segmento \overline{AQ} es igual a la suma del \overline{AC} y del \overline{CQ} . Denotémoslo con una ecuación

$$\overline{AQ} = \overline{AC} + \overline{CQ} \quad (13)$$

Notemos también que el cociente $\overline{CB} / \overline{AC}$ da la inclinación de la curva $e_0 = -E_{00} + \Delta e_0$ es decir, lo que hemos llamado conductancia de placa y designado con el símbolo μ . Luego

$$\frac{\overline{CB}}{\overline{AC}} = \mu$$

Y como r_p , la resistencia de placa, es la recíproca de la conductancia, resulta

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{CB}} = r_p$$

de donde se deduce que

$$\overline{AC} = r_p \overline{CB}$$



Fig. 46 - Interpretación de las relaciones y variaciones del triodo (curvas del triodo) para el triodo de placa

Pero ¡justo! que CB no es otra cosa que Δe_0 . Entonces

$$\overline{AC} = r_p \Delta e_0 \quad (14)$$

Tenemos ahora CQ. Y observemos que el segmento CB + CQ es la inclinación de la línea de carga. Pero esta inclinación está también medida por el cociente $(0.1) / (1E)$. Entonces

$$\frac{\overline{CB}}{\overline{CQ}} = \frac{(1D)}{(1E)}$$

Si invertimos las dos cantidades ignoradas en esta ecuación, se tiene

$$\frac{\overline{CQ}}{\overline{CB}} = \frac{\overline{OE}}{\overline{OD}} \quad (15)$$

Para CB E_{00} y $\overline{OD} = E_{00} + E_b$. Entonces

$$\frac{\overline{OE}}{\overline{OD}} = \frac{E_{00}}{E_{00} + E_b} = R_0$$

Por poca álgebra que se sepa, se comprenderá que el cociente de $E_{00} + E_b / R_0$ es igual a E_b , como lo hemos pasado.

Recomando la ecuación (15), resulta ahora

$$\frac{\overline{CQ}}{\overline{CB}} = R_0$$

de donde se deduce que

$$\overline{CQ} = R_0 \overline{CB}$$

y como ya sabemos que CB = Δe_0

$$\overline{CQ} = R_0 \Delta e_0 \quad (16)$$

Tenemos así valores nuevos para \overline{AC} y para \overline{CQ} . Introduciendo estos valores en la ecuación (13) resulta

$$\overline{AQ} = \overline{AC} + \overline{CQ} = r_p \Delta e_0 + R_0 \Delta e_0$$

que es lo mismo que escribir

$$\overline{AQ} = (r_p + R_0) \Delta e_0 \quad (17)$$

Tenemos ahora AQ. Es la distancia horizontal entre las curvas que corresponden a $e_0 = E_{00}$ y a $e_0 = E_{00} + \Delta e_0$. La distancia entre curvas que corresponden a voltajes separados de 1 volt será (van definiendo el factor de amplificación

$$\frac{\overline{AQ}}{\Delta E_0} = \mu \quad (18a)$$

de donde se deduce que

$$\overline{AQ} = \mu \Delta e_0 \quad (18b)$$

tiene preocupaciones mayoritarias porque es más o menos el mismo en toda el área cubierta por las características.

En consecuencia, al aplicar el teorema del circuito equivalente de pñca, esto es, las fórmulas 19 y 21 tomaremos las siguientes precauciones:

1º Poner en las fórmulas los valores de μ y r_p que correspondan al punto Q de partida.

2º Considerar \pm exactos los resultados sólo para valores muy pequeños de Δe_c . Para valores mayores, hay un error a causa de la variación de r_p y eventualmente de μ .

3º El error a que se hace referencia en 2º no tiene mayor importancia siempre que la variación de Δe_c no sea tan grande como para hacer pasar la rejilla al, cuando en algún caso, como para llevar $e_c = E_c$.

4º Δe_c a un valor demasiado próximo

al corriente $\Delta i_b \approx \mu$. Por ejemplo, en el caso de la 6J5 ($\mu = 20$), suponiendo que el punto Q está sobre la curva $e_c = 6$ voltos, y que la

variación de pñca sea de 320 volts el resultado de resultados razonables cuando Δe_c se limita, en sentido positivo, a 6 voltos y en sentido negativo a 6 voltos. (En efecto, $E_{b1} \approx \mu = 320 \div 20 = -16$ voltos.

$E_{cc} + \Delta e_c$, con $\Delta e_c = 6$ voltos da $-6 + 6 = 0$ voltos.)

Para el uso de este teorema, son útiles las curvas que muestran cómo varían r_p , g_m , con la corriente de placa, porque evitan la necesidad de calcular los factores en cada caso. Dichas curvas son suministradas por los

fabricantes en la Fig. 49 se reproducen las que corresponden a la 6J5.

Ejemplo. De todo 6J5 se aplica en condiciones tales de tensiones que con 10.000 ohms de carga la corriente es de 5 mA. ¿Cuál es la variación de placa cuando la tensión de rejilla se aumenta en 5 voltos? ¿Cuál es la variación de la tensión de placa?

Solución. Según las curvas de la Fig. 49, con 5 mA la resistencia de placa es de 10.000 ohms, y $\mu = 20$. Con estos valores $r_p = 10.000$ ohms es exacto, aplicando la fórmula (19b):

$$\Delta i_b = \frac{20 \times 5}{10.000 + 10.000} = \frac{10}{20.000} = 0.002 \text{ Amp.}$$

$$\Delta i_b = 2 \text{ mA}$$

Y también, con la fórmula (20):

$$\Delta e_c = -\Delta i_b R_p = -0.002 \times 10.000 = -20 \text{ voltos}$$

5.5 - El triodo con variaciones de tensión secundarias aplicadas a la rejilla. Consideremos el circuito de la Fig. 50. Es semejante a la Fig. 48, pero en lugar del dispositivo potenciométrico usado en esta

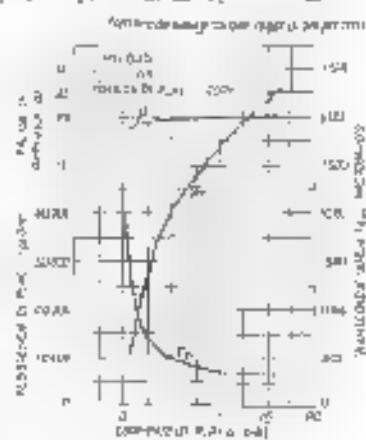


Fig. 49 - Características de la 6J5 en modo triodo.

última para obtener los Δe_c , se supone que hay intercalado un generador de tensión alterna, que proporcione una tensión senoidal

$$e_c = \sqrt{2} E_c \cos 2\pi ft \quad (19)$$

donde E_c es el valor eficaz de la tensión y $\sqrt{2} E_c$ el valor máximo. Esta tensión se suma como antes a la de la batería de rejilla para dar la tensión total de rejilla

$$e_c = E_c + \sqrt{2} E_c \cos 2\pi ft \quad (20)$$

La tensión total de rejilla varía entonces de modo continuo entre los valores extremos

$$e_c = -E_c + \sqrt{2} E_c$$

cuando $\cos 2\pi ft = 1$, es decir, en el instante $t = 0$, por ejemplo, y

$$e_c = E_c - \sqrt{2} E_c$$

cuando $\cos 2\pi ft = -1$, es decir, en el instante $t = \frac{1}{2f}$, por ejemplo.

La función de Δe_c está entonces desempeñada por el término variable $\pm \sqrt{2} E_c \cos 2\pi ft$. Es decir, se tiene

$$\Delta e_c = e_c = \sqrt{2} E_c \cos 2\pi ft \quad (21)$$

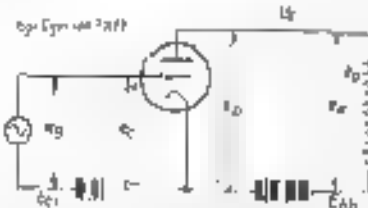


Fig. 50 - Circuito de utilización del triodo con variación de la tensión de rejilla.

Δi_b variará entonces con el variar de Δe_c . Si cualquiera de los dos varía Δe_c al transcurrir el tiempo, podremos calcular con la fórmula (21) el valor de Δe_c que corresponde a cada instante t que nos interese. Los valores de Δi_b así obtenidos se reemplazan en la fórmula (19b) y así está se calculan los valores correspondientes de Δi_b . Se comprueba, con

un pequeño esfuerzo de imaginación, que los mismos resultados se obtendrán si substituimos Δe_c en la fórmula (19b) por $\sqrt{2} E_c \cos 2\pi ft$, es decir, en (19b):

$$\Delta i_b = \frac{\mu \sqrt{2} E_c}{r_p + R_p} \cos 2\pi ft \quad (25)$$

Si esta expresión es válida, resulta que Δi_b varía también senoidalmente, siguiendo la misma ley que Δe_c .

En esta afirmación hay algo implícito que conviene aclarar desde ya. Y es que supongo que la corriente de placa responde instantáneamente a las variaciones de la tensión de rejilla, cuando ya que mi hipótesis se respalda dada la figura de los electrones, aunque en es válida de un modo absoluto. El tiempo que la corriente de placa tarda en responder a las variaciones de rejilla es del orden de 10^{-8} seg., es decir, de una

centavillonesima de segundo. Esto es tan rápido que no trae mayores inconvenientes al aplicar la ecuación 25 mientras la frecuencia f sea menor, digamos que unos 10 000 000 de ciclos por segundo (10 megacilos). Para frecuencias de 20 megacilos y mayores, hay un retardo apreciable entre las variaciones de i_p y las de e_p , tan importante que obliga a emplear triodos de construcción especial y hasta desecharse este tipo de válvulas para reemplazarlas por otras de distinto funcionamiento, tales como las lámparas kástron, magnetron, etc.

Para simplificar la notación podemos escribir $i_p = \Delta i_p$

Por lo tanto, se tiene

$$i_p = \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} \sqrt{2} E_s \cos 2\pi ft \quad (26a)$$

Para dar a la expresión de i_p la forma habitual en circuitos alternos,

$$i_p = \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} I_s \quad (27)$$

Por lo tanto

$$i_p = \sqrt{2} I_s \cos 2\pi ft \quad (28a)$$

donde I_s adopta el significado de valor efectivo de las variaciones senoidales $i_p = \Delta i_p$ de la corriente de placa.

Cuando, pues, se aplica a la rejilla del triodo una tensión alterna senoidal, la corriente de placa sufre también una variación senoidal senoidal. El valor eficaz I_s de esta variación está ligado al valor eficaz de la tensión alterna aplicada en la rejilla por la ecuación (27)

Del mismo modo podríamos calcular las variaciones Δe_p de la tensión de placa. Poniendo $\Delta e_p = \sqrt{2} E_p \cos 2\pi ft$ en la ecuación (21) tenemos

$$\Delta e_p = - \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} \sqrt{2} E_s \cos 2\pi ft \quad (28)$$

Si se tiene en cuenta la sencilla relación trigonométrica

$$\cos \alpha - \sin \alpha = - \cos \alpha$$

la ecuación (28) podrá escribirse

$$\Delta e_p = \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} \sqrt{2} E_s \cos (2\pi ft - \pi) \quad (29)$$

Y si escribimos $e_p = \Delta e_p$, obtenemos

$$e_p = - \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} \sqrt{2} E_s \cos (2\pi ft - \pi) \quad (30)$$

Las variaciones de la tensión de placa son también senoidales, pero están retrasadas de un ángulo π , es decir, en medio período con respecto a las de la tensión de rejilla. Podemos, finalmente, escribir

$$E_p = - \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} E_s \quad (31)$$

con la cual daremos a e_p la expresión usual de las tensiones alteradas:

$$e_p = \sqrt{2} E_p \cos (2\pi ft - \pi) \quad (32)$$

donde E_p adopta el carácter de valor efectivo de e_p y $\sqrt{2} E_s$ el de valor máximo o de cresta.

Las variaciones de i_p y e_p , respectivamente, de la corriente y de la tensión de placa se llaman también las componentes alternas de crías.

EJEMPLO A La rejilla de un triodo 6SF5, que funciona de tal modo que $\mu = 10$, $r_p = 70 000$ ohms y $R_p = 30 000$ ohms, se aplica una tensión alterna de 1.2 volts eficaces y de frecuencia igual a 796 ciclos por segundo. Expresar las correspondientes alteras i_p y e_p de la corriente y de la tensión de placa.

Solución. Expresando la tensión aplicada a la rejilla en la forma general de la ecuación (22) se tiene

$$e_s = \sqrt{2} \times 1.2 \times \cos 5900 t$$

Puesto que $796 \times 796 = 5300$

Por la ecuación (26a) se tiene entonces

$$i_p = - \frac{100}{70 000 + 30 000} \sqrt{2} \times 1.2 \times \cos 5900 t$$

$$i_p = \sqrt{2} \times 0.0006 \cos 5900 t \text{ amperes}$$

Del mismo modo se tiene por la ecuación (28):

$$e_p = - \frac{100 \times 130 000}{70 000 + 30 000} \sqrt{2} \times 1.2 \times \cos (5900 t - \pi)$$

y efectuando los cálculos,

$$e_p = \sqrt{2} \times 7.6 \times \cos (5900 t - \pi) \text{ volts}$$

Los valores efectivos que podrían calcularse con las ecuaciones 27 y 31 respectivamente, resultan

$$I_s = 0.0006 \text{ amperes}$$

$$E_p = 7.6 \text{ volts}$$

6.3 - Amplificación. Notamos que en el ejemplo anterior una variación senoidal de tensión de 1.2 volts eficaces da lugar a la aparición de una variación de tensión de placa también senoidal pero de 7.6 volts como valor eficaz. Esta transformación de las variaciones de tensión aplicadas a la rejilla en otras mayores, pero de igual forma de onda, en el circuito de placa es un aspecto de la propiedad amplificadora de los triodos. La onda de tensión aplicada a la rejilla ha sido aumentada o amplificada, en este caso $7.6 : 1.2 = 6.5$ veces. Este cociente, que valor efectivo de la tensión de placa dividida por el valor efectivo de la variación de la tensión de rejilla, se llama *amplificación de tensión o ganancia de tensión* del montaje particular que se considera.

Dado que los valores eficaces de las variaciones de placa y de rejilla están ligados entre sí por la ecuación (31) podemos derivar de esta una fórmula general para calcular la ganancia. Se obtiene, en efecto, fácilmente, y llamando A a la amplificación:

$$A = \frac{E_p}{E_s} = - \frac{\mu R_p}{r_p + R_p} \quad (33)$$

Ejemplo. En el caso considerado en el ejemplo anterior, se tiene

$$A = \frac{100 \times 100000}{10000 + 100000} = \frac{10000000}{200000} = 50$$

Conociendo la ganancia de un montaje, se puede calcular fácilmente el valor eficaz (o la amplitud) de la variación de placa cuando se conoce la de rejilla. En efecto, introduciendo en la ecuación (31), se tiene

$$E_p = A \cdot E_g \quad (34)$$

Así, para $E_g = 1,2$ volts, volvemos a obtener $E_p = 65 \times 1,2 = 78$ volts.

Algunos autores rigurosos suelen arrostrar el signo (-) de la ecuación 28 hasta la fórmula de la ganancia 33. Pero es un tanto rigor si no se introduce una notación especial para representar las magnitudes alterna, ya que, como lo hemos definido aquí, la ganancia es la relación entre dos valores eficaces de tensión, y esos valores son necesariamente positivos en todos los casos. Debemos tener en cuenta, sin embargo, que hay una diferencia de fase de 180° entre los valores instantáneos de e_g y e_p .

8.10 - Circuito de placa equivalente. Vamos a introducir ahora una representación simplificada del triodo, que resulta muy útil para el estudio de los amp. lineares de tensión. Para ello basta una simple observación: La corriente I_p que dan las ecuaciones (26) y (31), es la misma que circula en el circuito de la Fig. 51. En este tenemos un generador de fuerza electromotriz igual a μE_g volts eficaces y de resistencia interna igual a r_p sobre empes (terminales K y P se ha conectado a resistencia de carga R_L). Según la ley de Ohm, el valor eficaz de la corriente de este circuito es

$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p + R_L} \quad (35)$$

puesto que puede considerarse que la fuerza electromotriz o tensión eficaz μE_g está aplicada a la combinación en serie de las resistencias r_p y R_L , cuya resistencia total es $r_p + R_L$.

El resistor R_L no puede evidentemente, darse cuenta ni las variaciones I_p de la corriente que por él pasa son causadas por el triodo de la Fig. 50 o por el generador de la Fig. 51. Excepto porque en el caso del triodo, I_p representa variaciones de la corriente continua y en el caso del generador simplemente, una corriente alterna, los efectos variacionales, que son los que interesan en este caso, son análogamente los mismos.

Por lo tanto, por lo que respecta a las variaciones de corriente en

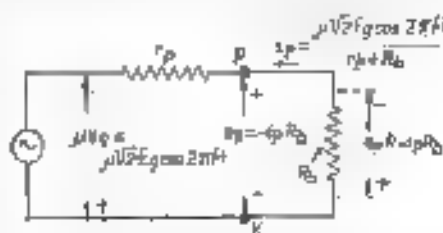


Fig. 51 - El amp. lineal de placa con R_L como carga externa. El triodo de la Fig. 50 es reemplazado por el circuito que se ve en la Fig. 51.

la carga, un triodo de factor de amplificación μ y resistencia de placa r_p , a cuya rejilla se aplique una tensión alterna de valor eficaz E_g , se puede distinguir de un generador de fuerza electromotriz μE_g y resistencia interna r_p .

¿Qué sucede con las variaciones de tensión? En el circuito de la Fig. 51 la corriente produce en la resistencia R_L una caída de tensión,

$$e_p = I_p R_L$$

o sea, puesto que

$$I_p = \sqrt{2} I_p \cos 2\pi ft$$

$$e_p = \sqrt{2} I_p R_L \cos 2\pi ft$$

$$= \frac{\mu I_p \sqrt{2} E_g}{r_p + R_L} \cos 2\pi ft$$

Esta caída de tensión difiere de las variaciones de tensión Δe_p (es decir, de e_p del circuito del triodo, solamente en el signo, comportándose con la ecuación (34).

Podemos escribir entonces

$$e_p = \Delta e_p = -e_p$$

$$e_p = - \frac{\mu R_L}{r_p + R_L} \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft$$

y ya que conocemos el significado del signo (-)

$$e_p = - \frac{\mu R_L}{r_p + R_L} \sqrt{2} E_g \cos (2\pi ft + \pi)$$

es decir, volvemos a la ecuación (30). En el circuito de la Fig. 51, la componente alterna de la tensión de placa aparece como la diferencia de tensión alterna entre el punto P y el punto K . Tiene el mismo valor que la caída de tensión en la resistencia R_L , pero de signo opuesto.

Lo que antecede pued. aparecer algo confuso a causa de la dificultad que se presenta al interpretar el significado de los signos + y -. Merece la pena tratar de aclararlo un poco. En todas las ilustraciones de este libro donde figuran tensiones y corrientes, hemos puesto para las primeras los signos + y -, y para las segundas, flechitas.

'Tensión' equivale a 'diferencia de potencial'. Diferencia de potencial equivale a un volt, su potencial eléctrico de un punto con respecto a otro. Decir que el potencial de la rejilla es de E_g volts con respecto al cátodo, sign. fies. que la rejilla está a un potencial de E_g volts sobre cátodo. Que nos referimos al potencial de la rejilla con respecto al cátodo y no al del ánodo con respecto a la rejilla, lo indicamos poniendo en la figura el signo (+) del lado de la rejilla, y el signo (-) del lado del cátodo. $e_g = 5$ volts indica que la rejilla es cinco volts positiva con respecto al cátodo, o -5 volts significa, por el contrario, que la rejilla es negativa con respecto al cátodo. En lugar de 'diferencia de potencial' o de 'potencial' con respecto a", usamos a veces como las palabras "tensión" y "voltage". Dela. de tres tensiones (o voltage) entre el punto A y el punto B , en este orden, para dar a entender que cuando esa tensión está expresada por un número positivo, el punto A es positivo con respecto a B .

En el caso de las corrientes, el sentido positivo de circulación se indica con una flecha. $i_1 = 5 \text{ mA}$ significa que en la Fig. 50 la corriente circula en el sentido de la flecha y haría marcar 5 mA a un miliamperímetro intercalado en el circuito. $i_1 = -5 \text{ mA}$ indicaría una corriente de igual magnitud pero que circula en sentido opuesto.

Cuando una corriente pasa por una resistencia, el extremo por donde entra la corriente es positivo con respecto al extremo de salida. La tensión que aparece entre el extremo de entrada y el de salida se llama *caída de potencial*. Las caídas de potencial se calculan con la ley de Ohm:

$$E = RI$$

Cuando R es siempre positiva, E tiene el mismo signo matemáticamente que I . Por lo tanto, al poner los signos $+$ y $-$ en la indicación de las caídas de potencial hay que poner siempre el signo $+$ del lado por donde entra la corriente para que la ley de Ohm tenga un significado cabal. Por eso en la Fig. 50 puede escribirse $e_2 = R_2 i_2$. Pero si quisiera expresar el potencial del extremo superior de la resistencia R_2 con respecto al inferior debemos decir que ese potencial es igual a $-e_2$, si e_2 no presenta la caída de tensión en la resistencia. No hay contradicción en esto pues 30 metros de profundidad o -30 metros de altura, al serido positivo de la profundidad se hacia abajo, al de la altura, hacia arriba. Los números que se expresan, refiriéndose a la misma cosa, deben tener diferente signo.

Las corrientes salen, por lo común (no siempre es así, piénsese en los acumuladores en carga), del polo positivo de las baterías. Por eso conviene que las flechas que indican el sentido positivo de las corrientes salgan del polo positivo de las baterías o de los generadores. De este modo, como la corriente que produce una batería sale de su polo positivo y se expresa con esta otra forma de la ley de Ohm:

$$I = \frac{E}{R}$$

se conserva el valor matemático pleno de esta ecuación.

El problema se complica aún más en el caso de los circuitos de corriente alterada, porque aquí las corrientes y las tensiones cambian periódicamente de sentido. Pero observemos que una corriente alterna se expresa por una ecuación de la tipo

$$i_1 = \sqrt{2} I_1 \cos 2\pi ft$$

y aun, para diferentes valores de t , arroja valores positivos o negativos según el signo que resulte para $\sqrt{2} I_1 \cos 2\pi ft$. Que indica entonces la flecha i_1 en la Fig. 52? Indica, simplemente, el sentido en que circula la corriente cuando i_1 es positivo en la ecuación anterior.

Del mismo modo, los signos $+$ y $-$ puestos en la indicación e_2 en la Fig. 51 expresan que el terminal superior del generador es positivo con respecto al inferior cuando la ecuación que expresa el valor de e_2 arroja valores positivos. Cuando en un circuito hay un generador de corriente alterna, hay que respetar la misma convención con respecto a los sentidos elegidos como positivos para la tensión y la corriente que

en el caso de corrientes continuas, para que así la ley de Ohm aplicada a las corrientes alternadas conserve su significación matemática.

Tracemos de justificar ahora la elección de sentidos positivos que se ha hecho en la Fig. 51. Para ello volvamos a la Fig. 50 y recordemos que i_1 no es otra cosa que Δi_1 . Cuando Δi_1 es positiva, sabemos que la corriente aumenta su valor por lo que se agrega Δi_1 en el mismo sentido. Por lo tanto Δi_1 más del extremo superior de R_2 y por eso el sentido positivo de i_1 en la Fig. 51 es el que sale también del extremo superior de R_2 .

Ahora recordemos que

$$i_1 = \sqrt{2} \frac{E_1}{R_1 + R_2} \cos 2\pi ft$$

que puede escribirse también $(\sqrt{2} E_1 \cos 2\pi ft = e_1)$

$$i_1 = \frac{e_1}{R_1 + R_2}$$

En esta ecuación i_1 es positivo cuando lo es e_1 , porque tanto i_1 como e_1 y R_1 son siempre positivos. Por lo tanto, el sentido positivo de i_1 no puede ser otro el que se eligió en la figura.

Por otra parte, e_2 no es otra cosa que Δe_2 . A su vez, i_2 es el potencial de la placa con respecto al cátodo Δe_2 , positivo significa que e_2 aumenta

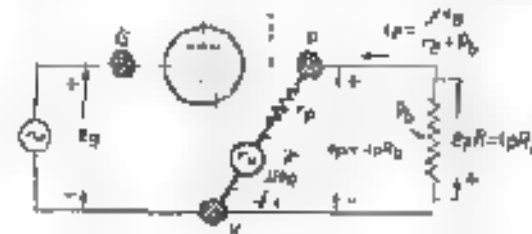


Fig. 52. Circuito equivalente del triodo analizado en observación en correspondencia con las ecuaciones. El triodo se representa por los tres puntos que indican el cátodo, la placa y la grid. Los valores R_1 , R_2 y R_L son los valores de las resistencias en ohms.

Por lo tanto, en la Fig. 51 el sentido positivo de e_2 no puede ser sino el elegido. Este es opuesto al de la caída de tensión e_2 en la resistencia R_2 , al cual debe conformarse necesariamente si que antes se eligió para i_2 .

El significado cabal del circuito equivalente del triodo se interpreta en la Fig. 52. El triodo que se mide con líneas de puntos para recordar su posición original en el circuito, se reemplaza por los tres puntos G, P y K, que representan, respectivamente, los terminales de rejilla, de placa y de cátodo, y el generador μe_1 conectado en serie con la resistencia R_1 entre los terminales K y P. La carga R_L se conecta en la forma habitual, es decir, entre placa y cátodo, y el generador variacional e_2 también en la forma habitual, es decir, entre cátodo y rejilla. Hecho así, así es al abreviado original es que a e_2 positivo, es decir, a un aumento en la tensión de rejilla a cátodo, corresponde una disminución de la tensión de placa a cátodo, es decir, un Δe_2 negativo, o lo que es igual, un valor de e_2 negativo. Este aspecto se satisface precisamente en la representación de la Fig. 52 gracias a la adecuada asignación de los sentidos positivos.

Nótese que, limitada la validez del teorema básico al caso de rejilla

negativa, no hay en la Fig. 50 corriente de roja. En la Fig. 53, el generador de tensión e_s está en circuito abierto y, conforme a lo que puede esperarse, no entrega corriente. Sin embargo, varíenmos poco más adelante que esta idea correspondiente a una sobreesplumificación del problema que, si bien es aceptable en muchos casos, conduce en otros a pasar por alto aspectos de fundamental importancia en el funcionamiento de los triodos y de los tubos electrónicos en general.

8.11—Otra limitación del circuito equivalente. Distorsión. Vuelva por un momento a la Fig. 48. Y observamos que si en lugar de aplicar una variación positiva $+ \Delta e_s$ a la roja, le aplicáramos una negativa de igual magnitud $-\Delta e_s$, pasaríamos al punto F , a lo que corresponde una tensión de placa e_{p2} mayor que E_{p1} . Hay entonces una variación positiva de esta tensión, que llamaremos Δe_p y que es igual a $e_{p2} - E_{p1}$. El valor de esta variación podría calcularse con la ecuación 21, escribiendo en ella $-\Delta e_s$ en lugar de Δe_s . Y puesto que sólo se cambia el signo, la aplicación de la fórmula conduce a

$$\Delta e_p = \Delta e_s$$

Es fácil darse cuenta, observando la Fig. 48, que tal cosa será reflejo del de la realidad cuando el segmento QP de la línea de carga sea igual al QB, es decir, cuando las distancias entre las curvas de la familia, medidas sobre la rama de carga sean iguales. En la Fig. 47 se observa que esta condición no se cumple de un modo exacto, y, como ya lo habíamos hecho notar, las variaciones de la fórmula que nos ocupa son sólo aproximadas. Dígase también que al tratar de calcular el valor de las variaciones de e_s y de e_p que corresponden a una determinada variación de e_s , no es necesario preocuparse de los errores que pudieran cometerse para la mayoría de las aplicaciones prácticas, siempre que no excedan los límites bastante amplios mencionados en su oportunidad.

Pero hay otro aspecto de la cuestión en el cual esta falta de exactitud de las fórmulas es, desgraciadamente, de gran importancia. Y es la que se refiere a la fidelidad con que las variaciones de e_s siguen a las de e_p , o, si se quiere, a la fidelidad con que los valores de e_s siguen a los de e_p (entiéndase que e_s y e_p son las variaciones de e_s y de e_p). Si la fórmula en cuestión y por lo tanto todas las que de ellas han sido obtenidas, fueran exactas, las cosas ocurrirían como se representa con líneas rectas en la Fig. 53. Es fácil darse cuenta cómo ha sido hecha esta

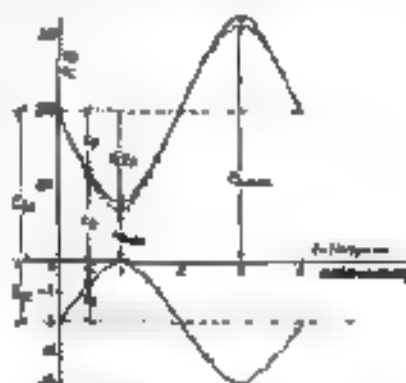


Fig. 53. Variación de la curva superior (línea de carga) y la curva de número de electrones (línea de placa) en función de la tensión de placa. Se indica que la distancia QP es igual a la distancia QB.

figura a pesar de la simplificada que parece. Se han dibujado dos ejes e_s y e_p y $(\Delta e_s, \Delta e_p)$. Sobre la primera hay una escala de tiempo en milisegundos de segundo en el eje vertical, hacia arriba una escala para las tensiones e_s , y hacia abajo, para las tensiones e_p . Se ha puesto entonces que se aplica una tensión $E_{p1} = 5$ como tensión fija de roja (polarización), más una tensión variable

$$e_s = 8 \sin 2\pi \times 250 \times t$$

es decir una tensión alterna de amplitud $\sqrt{2} E_s$ y frecuencia $f = 250$ c/s. Esta onda de tensión se ha dibujado hacia la parte

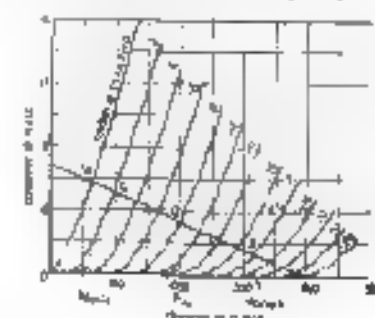


Fig. 54. Variación de la curva superior (línea de carga) y la curva de número de electrones (línea de placa) en función de la tensión de placa. Se indica que la distancia QP es igual a la distancia QB.

sobre la recta horizontal trazada por el punto correspondiente a -5 volts del eje vertical. Por ejemplo para $t = 0.0005$ segundo $\frac{1}{2}$ milisegundo no largo

$$e_s = 8 \sin \pi \times 2 \times 250 \times 0.0005 = 8 \sin \pi \times 0.25 \\ = 8 \sin \pi/2 = 8 \sin 90^\circ = 8 \times 0.97 = 5.656 \text{ volts}$$

y e_p , que como sabemos es

$$e_p = E_{p1} + e_s$$

resulta

$$e_p = -5 + 5.656 = 0.656 \text{ volts} \quad (t = 0.0005 \text{ seg.})$$

Estos valores se han representado como ejemplo en la figura, marcándolos con flechas. En el punto elegido como de partida en una variación de la tensión E_{p1} se tiene aproximadamente $\mu = 19$ y $r_p = 12,000$ ohms. Además, se ha tomado $E_{p1} = 50,000$ ohms. Con la fórmula

$$\Delta e_s = - \frac{\mu R_p}{r_p + h_p} \sqrt{2} E_s \cos 2\pi f t$$

calculamos para el valor de t del ejemplo

$$\Delta e_s = e_s = - \frac{19 \times 61,000}{12,000 + 60,000} \times 5.656 \approx - 89.5 \text{ volts}$$

Este valor es despreciable de E_{p1} , como se muestra en la figura, para obtener e_p . Repitiendo lo mismo para otros instantes resulta como se ve, que los valores de e_s están sobre una amplitud alrededor de la horizontal trazada por el punto del eje vertical que corresponde a

$e_p = E_{p1} = 200$ volts. En realidad basta, sabiendo que e_p debe ser una variación senoidal, con calcular la amplitud de esta senoidal $\sqrt{2}E_p$, con la ecuación (31), recordando que $\sqrt{2}E_p = 5$ volts. Se tiene así

$$\begin{aligned}\text{Amplitud de } e_p &= \sqrt{2}E_p = \frac{rB_0}{r_p + B_0} \sqrt{2}E_p = \\ &= \frac{15 \times 10\,000}{12\,000 + 10\,000} \times 5 \approx 125 \text{ volts}\end{aligned}$$

Para esta amplitud de variaciones, e_p resulta variar entre un valor mínimo

$$e_{\min} = 300 - 125 = 175 \text{ volts}$$

y un valor máximo (ver la figura)

$$e_{\max} = 300 + 125 = 425 \text{ volts}$$

En la Fig. 54 se estudia gráficamente el mismo caso trazando la E con la carga en la forma senoidal. Se observa que el valor real de e_{\min} es de unos 172 volts, mientras que el valor de e_{\max} es de unos 422 volts.

La variación negativa máxima de e_p es de

$$300 - 200 = -100 \text{ volts}$$

y la positiva máxima, de

$$300 - 200 = 100 \text{ volts}$$

en lugar de los 125 volts que arroja el cálculo numérico para los dos casos. Se comete un error al aplicar las fórmulas. Este error es de poca importancia si sólo se atiende a las magnitudes, sobre todo teniendo en cuenta que la suma de las magnitudes de las dos variaciones es igual a $100 + 100 = 200$ volts, exactamente igual a 2×100 volts. Lo importante es que la variación de e_p ya no es senoidal. La línea de tensiones superpuesta a la línea, en la Fig. 53, que ha sido trazada con valores leídos en el gráfico de la Fig. 54, muestra, en efecto, que si bien dirigido hacia abajo se ajusta con respecto a la senoidal pura, mientras que el piec dirigido hacia arriba se achata. No es ya una senoidal perfecta, pero cualquiera diría que es una senoidal deformada. Como tenemos cierta tendencia a emplear términos raros, en vez de *deformada* decimos *distorsionada*, y en vez de *deformación*, *distorsión* (consultemos el diccionario!). Descubrimos así que, en rigor, las variaciones de la tensión de placa no siguen tan fielmente como creíamos a las de la tensión de rejilla, sino que entre ambas hay cierta discrepancia que llamamos *distorsión*. Y, sobre todo, comprendamos que el teorema del circuito equivalente no toma en cuenta esta distorsión.

¿Es importante la distorsión? ¿Puede expresarse con un número? Si y sí. Pero no es éste el lugar para ocuparnos más extensamente de ella. Contentémonos con decir que en el caso considerado la *distorsión* es de más o menos el 20 %, cifra que los entendidos estiman intolerable en un tubo "combinado".

Si repetiéramos el análisis para valores máximos de e_p mucho más pequeños (1 ó 2 volts), veríamos que la distorsión sería mucho menos notable, tal vez, en cifras 45 %, algo realmente insignificante.

¿Qué conclusiones? El teorema del circuito equivalente es muy útil cuando no interesa tomar en cuenta la distorsión, sea porque no paramos cuenta en la "fidelidad", sea porque, probablemente, es insignificante. Cuando es necesario en nuestros estudios tomar en cuenta la insidiosa distorsión, no queda otro remedio que al recurrir al método gráfico y —término bien presente— a la experimentación directa de los circuitos que se proyectan o estudian. Una de las habilidades del técnico eficiente es la de aplicar en cada caso el método más adecuado, es decir, el que permita llegar a resultados válidos en el menor tiempo posible. Conocer los pequeños grandes secretos de la técnica aporta una economía de tiempo y de trabajo, y el que "rinde por dos" es, muchas veces, sólo el hombre que sabe lo que tiene entre manos.

4.12 — Capacitancias interelectrodas. A medida que "buceamos" el interior del triodo vamos encontrando cosas que llaman la atención, la que, desdichadamente, omite nuestra existencia. Esta representación tan elegante de la Fig. 52, tiene, por ejemplo, sus defectos. Simplemente no nos "avvenne" esto de dejar los terminales del generador de rejilla en el aire, tal vez porque es una demasiado hermosa para ser cierta. ¿Es posible que tal generador desempeñe tan cómodamente su función controladora y que "todo el fardo" se cargue a la pobrecita placa? La experiencia enseña que no, y, más aún, con métodos de medición bastante sensibles se muestra que hay cierta corriente de rejilla, aunque ésta nunca llegue a ser positiva. Pero si no llega a ser positiva la rejilla, bastantemente no capta electrones (negos, si esa corriente existe, debe de ser sus causas). Reflexionemos un poco. La rejilla está formada por un alambreito enrollado alrededor del cátodo, bastante próximo a él. Un condensador (digamos capacitor para ser más exactos) es el sistema formado por dos cuerpos conductores puestos en proximidad uno del otro y separados por un medio aislante. La rejilla y el cátodo forman, pues, un pequeño capacitor. La rejilla es una armadura, al lado de la otra, el "medio aislante" es el vacío. Entre las dos armaduras están aplicados los terminales del generador e_p . Este capacitor constituye una carga para el generador, a través de la cual éste formará cierta corriente. ¿Cuánta? Si llamamos C_{pr} a la capacitancia del capacitor en cuestión, E_p el valor eficaz de e_p , f a la frecuencia, o f_{ω} al valor eficaz de la corriente i_p que nos preocupa, y (¡de capital importancia!) si recordamos un poco a las corrientes alternas, decimos sin vacilar que es

$$i_p = \frac{\sqrt{2} E_p}{2\pi f C_{pr}} \cos(2\pi f t + \pi/2) = 2\sqrt{2} f C_{pr} E_p \cos(2\pi f t + \pi/2) \quad (36)$$

pues que

$$e_p = \sqrt{2} E_p \cos 2\pi f t$$

y la corriente en un capacitor está adelantada un cuarto de período (un ángulo de 90° es $\pi/2$) con respecto a la tensión. El valor eficaz de i_p resulta ser

$$I_p = 2 f C_{pr} E_p \quad (37)$$

¿Cuál es vale C_{pr} ? Depende, desde luego, de la construcción del tubo

y, sobre todo, de su tamaño. Los conductores que rodean la rejilla y el cátodo con las pastillas del tubo añaden también en cada caso despreciable. Los manuales dan la capacitancia C_{μ} para cada caso particular, pero en los tubos para receptores y amplificadores chicos encontrará siempre valores comprendidos entre 3 y 10 micromicrofarads ($\mu\mu F$). La reactancia $1/\omega C_{\mu}$ de un capacitor de 10 $\mu\mu F$ es de 1,8 megohms a la frecuencia de 10 000 ciclos por segundo; con una frecuencia de 1 000 000 de ciclos por segundo (1 megaciclo) baja a 18 000 ohms, y para 100 megaciclos, ya sólo 180 ohms!

¡Aparecen despreciables estas últimas cifras consideradas como impedancia de la carga de un generador!

Pero no es C_{μ} el único convidado de piedra con quien tenemos que lidiarnos. En efecto, la rejilla forma un capacitor también con la placa, y éste otro más con el cátodo. Los llamaremos, respectivamente, C_{gp} y C_{gk} . Son más o menos del mismo valor de capacitancia que C_{μ} .

Comprendamos que nuestro circuito equivalente necesita un ajustado minuto si queremos conservarlo en los casos en que, por lo elevado de la frecuencia, hay que tomar en cuenta estas capacitancias para no cometer errores muy serios con respecto a las condiciones en que se encuentra el generador de rejilla. Por lo menos necesitamos investigar un poco la cuestión para darnos cuenta del punto a partir del cual estas infatigables visitantes marcen en ser considerados.

¿Y entonces qué? ¿Por dónde atacaremos el problema? Lo más fiel

será agregar estos capacitores en el circuito de la Fig. 52 y detenernos a considerar lo que ocurre. Vea la Fig. 55; bamos suprimiendo el dibujo del tubo por innecesario, pero agregamos C_{μ} , C_{gp} y C_{gk} . Veamos. Mirando la figura resulta que C_{μ} viene a estar en paralelo con R_L . ¿Por qué no consideramos que la carga del tubo está formada en realidad por R_L y C_{μ} en paralelo? Nos liberamos así de C_{μ} ; lo malo es que nuestra carga no es ahora una resistencia pura sino una variación suponiendo, y esto complica un poco, no mucho, este aspecto del problema. Dejaremos para otra oportunidad ver cómo se resuelven estas complicaciones; conformémonos con aceptar que la simplificación no es muy importante y despídmonos por ahora de C_{μ} .

Con respecto a C_{gp} , tampoco hay mucho que preocuparse; está directamente en serie con el generador de rejilla y con el cátodo.

3 Como se ha dicho más arriba, estos capacitores comprenden los de entre electrodos inmediatamente adyacentes y los de los cátodos que van de aquéllos a las pastillas del tubo.

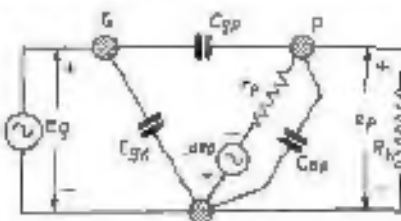


Fig. 55 - El circuito equivalente de la Fig. 52 agregando las capacitancias interelectrodo.

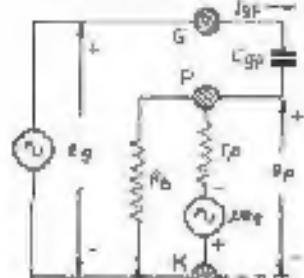


Fig. 56 - Diagrama en una forma de circuito equivalente de la Fig. 55, en el que se ha agregado el capacitor C_{μ} en serie con C_{gp} .

tamente cargado al generador de rejilla y toma de él la corriente I_{gp} que sabemos calcular.

El hueso más difícil de roer es C_{gp} . Pero hay un secreto para resolver problemas de circuitos: es el de dibujarlos en forma sencilla, tratando de poner en evidencia los aspectos que se busca contemplar. Ya lo verá. Descartados C_{μ} y C_{gk} volvamos a dibujar el circuito como lo muestra la Fig. 56. Conviénase de que es lo mismo. ¿Qué tensión hay aplicada entre las armaduras de C_{gp} ? O de otra forma, ¿cuál es el potencial del punto G con respecto al punto P? El G está e_g volts sobre K, y P a e_p volts sobre K, G está sobre P a un potencial que llamaremos e_m .

$$e_m = e_g - e_p$$

¿Qué corriente i_{gp} circula por C_{gp} ? Evidentemente, poniendo

$$e_g = \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft$$

y recordando que

$$i_{gp} = \frac{\mu I_{gp}}{r_p + R_L} = \frac{\mu E_g}{r_p + R_L} \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft$$

$$= -A \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft$$

se tiene

$$e_m = e_g - e_p = \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft - (-A \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft)$$

que es lo mismo que escribir

$$e_m = (1 + A) \sqrt{2} E_g \cos 2\pi ft$$

Por lo tanto

$$i_m = (1 + A) \sqrt{2} E_g \cos (2\pi ft + \pi/2)$$

$$= \frac{1}{2\pi f C_{gp}} (1 + A) \sqrt{2} E_g \cos (2\pi ft + \pi/2)$$

(18)

donde a $2\pi ft$ ha sido agregado $\pi/2$ para tener en cuenta que la corriente capacitiva está adelantada $\pi/2$ con respecto a la tensión. El valor eficaz de i_m es entonces

$$I_m = 2\pi f C_{gp} (1 + A) E_g \quad (19)$$

Esta corriente, como se ve en la figura, sale del generador e_g . Si a éste le preguntáramos ¿cómo lo "carga", amigo generador!, diría: —Mi tensión entre terminales es de E_g volts eficaces y del de arriba sale una corriente de I_{gp} amperes; mi carga debe ser

$$\text{carga de } e_g = \frac{E_g}{I_{gp}}$$

Agregaría tal vez que se "da cuenta" de que la carga es capacitiva, porque la corriente está adelantada $\pi/2$ con respecto a la tensión.

¡Ah! Entonces, según necesitamos de calcular,

$$\text{carga de } e_g = \frac{E_g}{I_m} = \frac{1}{2\pi f C_{gp} (1 + A)} \quad (20)$$

Esto es, la reactancia de un capacitor cuya capacitancia es igual a $(1 + A)$ veces C_{gr} .

En decir, debido a C_{gr} , el generador encuentra al tubo equivalente a un capacitor de capacitancia

$$C_m = (1 + A) C_{gr} \quad (41)$$

Como, además, tiene directamente conectado a C_{gr} entre sus terminales, la capacitancia total que "ve" es

$$C_s = C_{gr} + (1 + A) C_m \quad (42)$$

Anote esta fórmula en su libreta. Es capilar.

(Un ejemplo.) Un triodo 6P5 tiene $C_{gr} = 2.4 \mu\text{F}$ y $C_{pr} = 5.5 \mu\text{F}$. Pongamos una carga resistiva pura, de modo que la ganancia es de 60. El generador que provee las variaciones de rejilla proporciona una capacitancia, según la ecuación (42).

$$C_s = 5.5 + (1 + 60) 2.4 = 151.9 \mu\text{F}$$

Y esta capacitancia, a 10 000 ciclos por segundo está por los 100 000 ohms de reactancia, o 1 megadiohms por los 100 y a 100 megadiclos por los 10 ohms.

Este ejemplo es apilastante. Pero habrá notado que hemos salido del punto en el Capítulo VII del texto inventando el tetrodo.

Ahora queremos hacer notar algunas cosas. Primero, que nuestra linda demostración tiene un defecto y es que, habiendo agregado C_{gr} a la carga R_s , hemos calculado la ganancia con R_s sola. Hemos ganado en simplicidad, pero extrañamos los ojos a cosas muy interesantes. Cuando la carga no es resistiva para sí, sino que tiene una parte reactiva, el generador e , encuentra no sólo capacitancia en la válvula sino que en paralelo con ella aparece también una resistencia. Y, esta curiosa resistencia es positiva cuando la carga es capacitiva, y es negativa cuando la carga es inductiva. ¿Qué es una resistencia negativa? ¡Ah, la convención de signos! La ley de Ohm dice que si un acumulador de E volts alimenta a un resistor de R ohms, entrega una corriente

$$I = \frac{E}{R} \text{ amperes}$$

Y el acumulador dice: —Si tengo E volts y entrego I amperes, que salen de mi terminal +, mi resistencia de carga es una resistencia

$$R = \frac{E}{I} \text{ ohms}$$

Pero pongamos el acumulador en conexión con un cargador de batería. Entonces la corriente entra por el polo positivo +, y como estamos tomando como positivas las corrientes que salen del polo +, esa corriente es negativa. Y el acumulador reflexiona: —Tengo E volts, entrego por tal polo positivo I amperes, es decir, entrego $-I$ amperes. Luego, mi resistencia de carga es

¡Debe tenerse cuidado de interpretar el símbolo "carga" debidamente y tener en cuenta la convención de signos para asignar la impedancia conectada a los terminales de un elemento y alimentado por éste, y para referirse a la cantidad de electricidad que pasa en un acumulador, una batería o en cualquier otro elemento.

$$R = \frac{E}{-I} = -\frac{E}{I} \text{ ohms}$$

¡Una resistencia negativa!

Decir entonces que la válvula presenta resistencia negativa al generador no es más que una manera elegantemente oscura de decir que aparece una corriente que va de la válvula al generador. Más todavía. Nuestro acumulador que entrega la corriente I positiva a una resistencia R positiva, entrega una potencia

$$W = EI$$

¡Y cuando está conectado al cargador! Bueno, entonces E es un número negativo, I también, pero como está elevado al cuadrado da lo mismo que sea positivo o que sea negativo. Entonces W es un número negativo. Claro. El acumulador recibe potencia del cargador, es decir, entrega potencia negativa. Esta cuestión de los signos nos está enseñando a hablar al revés, pero no importa.

En nuestra válvula, el generador e , recibe potencia de la válvula cuando ésta le presenta una resistencia negativa. Res es todo. Mejor dicho, así toda, porque ¿de dónde sale esa potencia? No es difícil de contestar esta pregunta: de la misma parte donde puede salir, de la interior de placa.

Hay todavía otras cuestiones de importancia. El tiempo de tránsito de los electrones por su mecanismo de lo más enervado, también pone una resistencia entre rejilla y cátodo; y la inductancia de la conexión del cátodo aporta también su granito de arena. Nos iríamos muy lejos si nos pusieramos a investigar estas cosas. Estas nuevas resistencias son bastante pequeñas cuando la frecuencia es de 20 a 30 megaciclos o más, tal vez sólo unos cuantos milés de ohms. Son siempre positivas. En conclusión: El triodo presenta al generador de rejilla una impedancia formada por una resistencia capacitiva en paralelo con una resistencia positiva o negativa, según el carácter de la carga. La componente reactiva tiene efectos importantes, aun para frecuencias relativamente bajas (10 000 ciclos por segundo, o menos). La componente resistiva es importante sólo cuando se trata de frecuencias bastante elevadas.

7.4—Ganancia de los pentodos. El elevado factor de amplificación de los pentodos permitiría, si pariera, lograr ganancias mucho mayores que en los triodos. No es tanto así, sin embargo, a causa de que el factor de amplificación elevado va acompañado de una altísima resistencia de placa. En los triodos, con resistencias de placa que van de centenares a unos pocos miles de ohms hasta unos 70 000 como máximo, según el tipo, los valores prácticos de la resistencia de carga, de 20 a 250 000 ohms, resultan varias veces mayores que la resistencia de placa. Observando la fórmula (33) y escribiéndola así

$$A = \frac{\mu}{1 + \frac{r}{R_p}}$$

se observa que A difiere poco de μ cuando R_b es mucho mayor que r_p . En los pentodos, en cambio, pretender hacer R_b mucho mayor que r_p lleva a valores no prácticos de R_b . En realidad, no es posible en la práctica emplear resistencias de carga mayores de 500 000 ohms o de 1 megohm, y se usan preferentemente valores aun menores. Por consiguiente, los valores prácticos de la ganancia resultan varias veces menores que μ .

7.5—Circuito equivalente de placa para el pentodo. El valor de μ como representación del mérito del tubo como amplificador puede mejorarse por la razón explicada en el párrafo anterior. Conviene, por eso, dar otra forma a la expresión de la ganancia. Mayor, sin embargo, es empezar por la fórmula del teorema del circuito equivalente.

$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p + R_b}$$

Esta expresión se modifica convenientemente con las siguientes manipulaciones fáciles de seguir:

Multiplicando y dividiendo el numerador por r_p

$$I_p = \frac{\frac{\mu}{r_p} r_p R_b}{r_p + R_b}$$

y como

$$\frac{\mu}{r_p} = g_m$$

$$I_p = g_m R_b \frac{r_p}{r_p + R_b} \quad (43)$$

y multiplicando y dividiendo por R_b

$$I_p = \left(g_m R_b \frac{r_p R_b}{r_p + R_b} \right) \div R_b \quad (44)$$

Observes ahora que μR_b , producto de una conductancia (amperes sobre volt) por una tensión (volt) es una corriente (amperes); que esa corriente multiplicada por $r_p R_b \div (r_p + R_b)$, es decir, la resistencia resultante de la combinación en paralelo de r_p y R_b da una caída de tensión. Y finalmente esa caída de tensión dividida por R_b da la parte de la corriente $g_m E_g$ que circula por R_b , la cual es, precisamente, la I_p que buscamos.

Las fórmulas (43) y (44) convienen también al circuito equivalente de la figura 57, como es fácil verificar aplicándola al razonamiento anterior. Aquí el tubo se reemplaza por un generador de corriente electrodinámica constante (es decir, independiente de la carga) e igual a $g_m E_g$ en paralelo con la resistencia de placa r_p . Las partes P y K representan, o sea siempre, la placa y el cátodo.

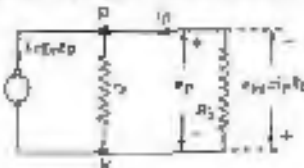


Fig. 57—Representación de un tubo equivalente para un pentodo. El tubo se reemplaza por un generador de corriente electrodinámica $g_m E_g$ en paralelo con la resistencia r_p . Cátodo con K , P la placa.

Se tiene así una nueva forma del circuito equivalente, aplicable también a los triodos.

El valor eficaz de la tensión alterada de placa, E_p , se calcula fácilmente:

$$E_p = I_p R_b$$

Introduciendo el valor I_p que da la ecuación (40):

$$E_p = g_m E_g \frac{r_p R_b}{r_p + R_b} \div R_b$$

Recordando los términos del segundo miembro, se tiene:

$$E_p = g_m \frac{r_p R_b}{r_p + R_b} E_g$$

y la ganancia, relación entre los valores eficaces de E_p y E_g

$$A = \frac{E_p}{E_g} = g_m \frac{r_p R_b}{r_p + R_b} \quad (45)$$

En la práctica, como dijimos, R_b es varias veces menor que r_p . Se puede admitir a menudo que la parte de la corriente $g_m R_b$ que circula por r_p es muy pequeña comparada con la que pasa por R_b , puesto que ésta ofrece en tales casos mucha menor resistencia que r_p . Por lo tanto, se puede tomar, tomando cierto error

$I_p = g_m E_g$ (46)
 $E_p = g_m E_g R_b$ (47)
 $A = g_m R_b$ (48)

Se ve, entonces, que lo importante en el pentodo es la transconductancia.

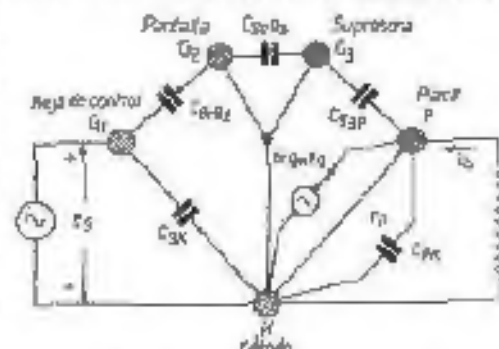


Fig. 58—Circuito equivalente del pentodo. Se ha omitido la representación de las capacitancias que existen entre G_1 y G_2 , entre G_2 y P , entre G_3 y P , para simplificar la figura.

Ejemplo. ¿Cuál es la ganancia de un pentodo 657 trabajando en las condiciones que se dan en la tabla de la página 47, con una resistencia de carga de 50 000 ohms? ¿Cuál será la ganancia convirtiéndolo caso triodo con la misma carga?

Solución. Aplicando la fórmula (48) para calcular la ganancia como pentodo:

$$A = g_m R_b = 1650 \times 10^{-4} \times 50000 = 82.5$$

Para calcular la ganancia como triodo aplicamos la fórmula (33):

$$A = \frac{\mu R_b}{r_p + R_b} = \frac{19 \times 50000}{7600 + 50000} = \frac{950000}{57600} = 16.5$$